

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**PROBLEMATIKA BROUŠENÍ TVRDOKOVOVÝCH  
MATERIÁLŮ**

**GRINDING OF CARBIDE MATERIALS**

Student:

Bc. David Hlavatý

Vedoucí diplomové práce:

prof. Dr. Ing. Josef Brychta

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Hlavatý**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: **Problematika broušení tvrdokovových materiálů**  
**Grinding of Carbide Materials**

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika obrábění tvrdokovů.
3. Návrh technologie broušení.
4. Průběh experimentálního měření a jeho zpracování.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marian. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] VASILKO, Karol; NOVÁK-MARCINČIN, Jozef; HAVRILA, Michal. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov, 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- [3] HAVRILA, Michal; ZAJAC, Jozef; BRYCHTA, Josef; JURKO, Jozef; *Top trendy v obrábání, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábání, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábání, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Dr.Ing. Josef Brychta**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



  
Ing.et Ing. Mgr. Jana Petru, Ph.D.

vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19.5.2014

Podpis studenta .....  


Prohlašuji, že

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 19.5.2014

Podpis studenta .....  


Hlavatý David

Krumpach 31

789 01 Zábřeh

**ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Hlavatý, D. problematika broušení tvrdokovových materiálů. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014, 50s. Diplomová práce, vedoucí Brychta, J.

Diplomová práce se zabývá návrhem vhodného obráběcího stroje pro broušení tvrdokovových materiálů. V první řadě je charakterizován vybraný podnik BSK – industrial s.r.o, na začátku práce jsou popsány druhy broušení, druhy kotoučů, brusné materiály a pojiva, výroba tvrdokovových materiálů. Navrhování nové technologie broušení, vhodné brusné kotouče pro výrobu součástí, upínání obrobku a upínání nástrojů na CNC brusce Combitec, měření součástí na měřicím přístroji a zvolení řezné kapaliny. Dále se uvádí vhodné řezné podmínky pro broušení dané součásti a nakonec je technicko-ekonomické zhodnocení.

**ANOTATION OF BACHELOR THESIS**

Hlavatý, D. Problems of grinding carbide materials. Ostrava: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering, VSB - Technical University of Ostrava, 2014, 50.p. Diploma thesis, supervisor Brychta, J.

This diploma thesis deals with design of suitable machine tool for grinding carbide materials. At first, there is the characteristics of chosen company BSK - industrial s.r.o. At the beginning there is description of types of grinding, types of grindstones, grind materials and production of carbide materials. Thesis also deals with new technology of grinding, appropriate grindstones for production of components, workpiece clamping, tool clamping on CNC grinder Combitec, components measurement on measuring device and election of cutting fluid. Moreover it contains appropriate cutting conditions for grinding the component and finally technical and economic evaluation.

## Obsah

1. Úvod .....	9
2. Obecná charakteristika daného problému .....	10
2.1 O společnosti BSK industrial s.r.o .....	10
2.2 Výrobní program .....	10
2.2.1 Výrobní specializace .....	11
2.2.2 sortiment výroby .....	11
2.2.3 Zákazníci firmy .....	12
3. Problematika obrábění tvrdokovu .....	12
3.1 Charakteristika broušení .....	12
3.2 Technologie broušení .....	13
3.2.1 charakteristické znaky procesu broušení .....	13
3.2.2 přehled základních metod broušení .....	16
3.3 Brousící nástroje .....	23
3.3.1 Brousící kotouče ze supertvrdých materiálů .....	24
3.4 Rozdělení pojiva .....	28
3.4.1 Kovové pojivo (K) .....	28
3.4.2 galvanické pojivo (Ni) .....	29
3.4.3 Pryskyřičné pojivo .....	29
3.5 Výrobní proces SK .....	29
3.6 Příprava prášků .....	30
3.7 Lisování prášků .....	31
3.8 Slinování .....	31
4. Návrh technologie broušení .....	33
4.1 Volba obráběcího stroje .....	33
4.2 Definice tvaru a rozměru výrobku .....	34
4.2.1 Základní rozměry výrobků .....	34
4.2.2 Dosahované parametry přesnosti kontur .....	35

4.3 Pracovní vřeteník a upínání výrobků .....	35
4.3.1 Upínání obrobků – max. upínací rozměry výrobků .....	35
4.3.2 Upínání a přepínání výrobků – výšky obrobků .....	37
4.4 Návrh brusných nástrojů .....	37
4.4.1 Upínání brusných kotoučů .....	38
4.4.2 Volba nástrojů pro broušení zadané součásti .....	39
4.4.3 Upínání kotoučů pro zadanou součást .....	40
4.5 Měření zvolené součásti .....	40
4.5.1 Měření součástí přímo na stroji .....	41
4.5.2 Měření tvaru součástí .....	42
4.5.3 Popis a technické data formtracer SV-C3000 .....	43
4.6 Volba vhodné řezné kapaliny .....	44
4.6.1 Technologické požadavky na řezná média .....	44
5. Průběh experimentálního měření a jeho zpracování .....	46
Tab. 7 Zadané parametry pro broušení kotoučem D46 .....	47
5.1 Kontrola tvarového profilu .....	47
5.2 Vyhodnocení výsledků .....	48
6. Technicko-ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení .....	48
7. Závěr .....	49
Seznam použité literatury .....	51
Seznam příloh .....	53

**Seznam použitých symbolů a značek**

<b>značka</b>	<b>popis</b>	<b>jednotky</b>
NC	Numerical control	-
CNC	Computer numerical control	-
Ra	Střední aritmetická úchylka profilu	$\mu\text{m}$
KNB	Kubický nitrid bóru	-
SK	Slinuty karbid	-
D	Průměr obrobku nebo nástroje, zrnitost brusiva	mm
Y	Průměr stopky nástroje	mm
L	Délka stopky nástroje	mm
T	Délka brusné části	mm
CBN	Kubický nitrid boru	-
p	Přídavek na obrábění	mm
d	Vnitřní průměr obrobku	mm
Ø	průměr	mm
$a_e$	Hloubka úběru	mm
$f_r$	Radiální posuv kotouče nebo obrobku	mm
$n_w$	Otáčky obrobku	$\text{m. min}^{-1}$
$v_{pk}$	Obvodová rychlost	$\text{m. min}^{-1}$
$v_{fa}$	Vodorovná obvodová rychlost	$\text{m. min}^{-1}$
$v_w$	Svislá obvodová rychlost	$\text{m. min}^{-1}$
$v_c$	Řezná rychlost	$\text{m. s}^{-1}$



## 1. Úvod

V současné době jsou na výrobu kladené vysoké nároky než v dřívější době. A tím musí firmy investovat do nových technologií, které budou konkurenčně schopné i jiným firmám. Nadále se zrychlí výroba součástí, a zrychlením se zvýší produktivita výroby.

První NC stroje, byly řízeny programem, který byl značen na dřevěném štítku nebo na dřevěné pásce. Postupem času byly NC stroje vybaveny výpočetní technikou, což vedlo ke vzniku CNC strojů. Výpočetní technika značnou mírou zjednodušila a urychlila programování, řízení stroje a ukládání dat pro jejich další použití. CNC řízené stroje zastanou více prací na jednu než konvenční stroje, sníží pracovní sílu a zaberou méně prostoru než konvenční stroje.

Diplomová práce je zpracována na téma „problematika broušení tvrdokovových materiálů“ – cílem práce je zvolit novou technologii broušení, která bude prospěšná k výrobě dané součásti. Bude zpracována v podniku BSK industrial s.r.o, který se zabývá výrobou broušení tvrdokovových materiálů. Problematika bude řešena na stroji Combitec CT-750, který je Švýcarské společnosti.

## 2. Obecná charakteristika daného problému

Tato diplomová práce vznikla na základě požadavku firmy BSK industrial s.r.o. Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout zefektivnění výroby, zlepšení obráběného povrchů a tvarů na CNC bruskách. Dalším cílem je zvolit vhodný brusný materiál, kterým docílím požadovaného povrchu a tvaru, který bude nejlépe vyhovovat požadavků zákazníka.

### 2.1 O společnosti BSK industrial s.r.o

Firma Miroslav Janku – BSK byla založena v roce 1994 za účelem výroby nástrojů ze slinutého karbidu pro dřevařský průmysl. Následně se začala zabývat nářadím a přípravky i pro další oboru.

Dceřiná společnost BSK industrial s.r.o vznikla v roce 2005 jak výsledek rozšiřování aktivní společnosti. Oba subjekty jsou dlouhodobě a dynamicky se rozvíjejícími výrobci nástrojů sloužících pro různé účely a disponují vysoce motivovaným kolektivem odborných pracovníků. Hlavním výrobním programem je výroba nástrojů pro studené tváření, práškovou metalurgii a třískové obrábění se specializací výroby nástrojů ze slinutého karbidu. Při této činnosti se snoubí tradice a letité zkušenosti.

Hlavní prioritou firmy je výroba produktivních nástrojů vysoké kvality, úměrné ceny, krátké dodací doby a hlavně spokojenost zákazníků. Nejen z těchto důvodů společnost investuje do nových technologií jako jsou strojní a měřicí vybavení.

Za období svého působení firmy BSK industrial s.r.o. vydobily svou pozici mezi dodavateli v automobilovém průmyslu, v oboru práškové metalurgie (lisovací nástroje), obalové techniky, elektroprůmyslu a dalších. Mezi naše zákazníky patří jak české, tak zahraniční firmy nejen v rámci Evropské unie.

V současné době probíhá další etapa rozšíření naší společnosti se zaměřením na výrobní program a jeho rozvoj, investice do strojních zařízení.

[1]

### 2.2 Výrobní program

- Tvářecí, lisovací nástroje a střižné nástroje ze slinutých karbidů a oceli
- Nástroje pro obalovou techniku a automobilní průmysl
- Nástroje pro kování za studena a studené tváření
- Výroba přesných dílu dle přání zákazníka

[1]

### 2.2.1 Výrobní specializace

- Konvenční třískové obrábění
- Konvenční broušení (děr, vnějších průměrů, ploch, tvarů a úhlů)
- CNC obrábění
- CNC broušení
- Elektroerozivní obrábění
- Honování děr
- Upínací přípravky
- Měřicí přípravky
- Měření na tříosém měřicím zařízení
- Měření vnějších kontur
- Měření kontur vnitřních děr od průměru 1,1 m
- Měření drsností povrchů
- Měření mechanických vlastností materiálů
- Měření přesných rozměrů výrobků na optických měřicích přístrojích [1]

### 2.2.2 sortiment výroby

Ve firmě BSK industrial se zabývá CNC broušení složitých tvarů v tvrdokovových materiálech vnitřních či vnějších průměrů. Tyto stroje mohou obrábět v osách X,Y a B, tím se da jí obrábět různě složité tvary. Nadále ve firmě jsou konvenční stroje, jako jsou (soustruhy, brusky, frézky atd.), dále vyrábí měřicí přípravky, tlakovací přípravky. Firma dále disponuje CNC soustruhy, frézky, hloubičkami a drátovým řezáním. [1]



obr. 2.1 Ukázky výroby součástí firmy BSK industrial s.r.o [11]

### 2.2.3 Zákazníci firmy

Hlavními zákazníky firmy jsou automobilového průmyslu a i zbrojního průmyslu:

- ZKL GROUP
- KAMAX
- MENNICA POLSKA
- SRUBENA UNIA

[1]

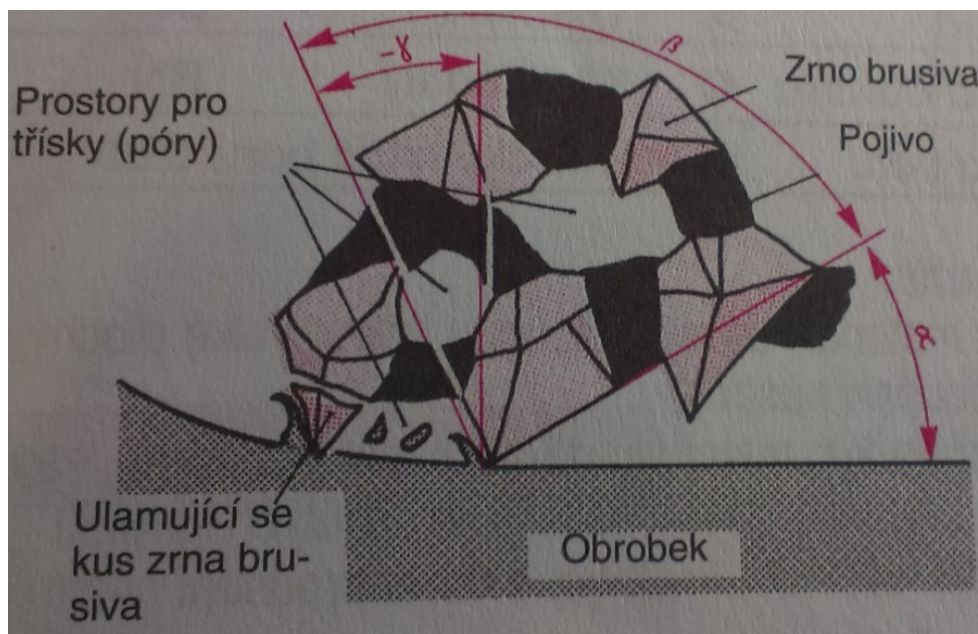
## 3. Problematika obrábění tvrdokovu

Tvrdokovové materiály se špatně obrábí v důsledku vysoké tvrdosti. Tyto materiály se dají v dnešní době obrábět různými metodami a to např. broušením, soustružením, frézováním atd., tyto technologie závisí na druhu složení tvrdokovu, ale nevýhodou soustružení a frézování je, že musíme používat speciální nástroje na obrábění tvrdokovu. Které jsou nákladné na pořízení a nemají dlouhou životnost při obrábění. Těmto technologiím se mohou předhrubovávat tvary pro broušení. Broušením se docílí vysoké kvality povrchu a přednosti rozměru a tvaru i jakosti dokončeného povrchu.

### 3.1 Charakteristika broušení

Broušení lze charakterizovat jako hromadné rychlostní mikrořezání povrchových vrstev těles s velmi jemnými zrna brusiva. Tento proces probíhá nejčastěji při rychlostech do 50 ms. Řadíme do abrazivních metod obrábění, které jsou typické pro nedefinovanou geometrii břitu. Zrna brusného kotouče musí splňovat vysoké tvrdosti.

Broušení patří mezi nejstarší metody obrábění. Na rozdíl od dosud uvedených metod obrábění, kde břit nástroje byl vždy přesně definován, má u nástrojů pro broušení každé zrno jiný geometrický tvar. Zrna jsou umístěna náhodně a jsou spojena pojivem. Mezi pojivem a zrny se vyskytují póry. Schematický je struktura brousícího nástroje znázorněna na (obr. 3.1)



Obr. 3.1 Geometrie brusného nástroje [16]

### 3.2 Technologie broušení

Broušení je hlavní dokončovací metoda, která umožňuje získat vysokou kvalitu a přesnost obrobenej plochy. Je to tedy metoda obrábění mnohobřitým nástrojem s geometricky nedefinovatelnými řeznými hranami (zrna brusiva), které jsou spojeny pojivem. Patří mezi nejstarší metody obrábění vůbec. V současnosti se díky možnostem rozšiřuje z původního pouze dokončovacího obrábění i do oblasti hrubování a se svou produktivitou je srovnatelné s ostatními metodami obrábění. Velký význam má převážně při výrobě valivých ložisek. [3]

#### 3.2.1 charakteristické znaky procesu broušení

- Z důvodu různé geometrie formy zrn a jejich nepravidelnému rozmístění v brousícím nástroji se odebírá tříška,
- Záporné úhly čela jednotlivých zrn jsou různé a obvykle velké (ovlivňují oblast primární plastické deformace)
- Zrna jsou schopna přenášet pouze malé řezné síly (slabé upevnění zrn pojivem), při obrábění dochází k samovolnému uvolňování jednotlivých zrn nebo jejich částí („samoostření“ brousícího kotouče),
- Třísky mají malý průřez (asi 10 -3 mm), řez je přerušovaný a třísky mají proměnlivý průřez (obdoba s frézováním), při broušení dochází v důsledku velkých

plastický deformací a tření třísky k takovým vysokým teplotám (až 1500 C), že se některé třísky roztaví a shoří (jiskření),

- Působení velkých měrných řezných sil (odporů) až do výše několika desítek tisíc MPa, vysoká řezná rychlost (30-100 m.s-1) a z toho vyplívají krátká doba záběru jednotlivých zrn,
- Z důvodu vzniku velkého tepla při broušení je nutné chladit obrobek i řezný kotouč; teplo vznikající při broušení oduhličuje povrchu obrobku, tak dochází ke vzniku trhlin a ke změnám struktury a také má za následek vznik nepříznivých takových zbytkových napětí v povrchové vrstvě obrobené plochy,
- Otupování ostří jednotlivých zrn brusiva a zanášení pórů třískami způsobuje ztrátu řezivosti; řezivost se obnovuje pomocí orovnávačů (jednokamenové, vícekamenové, ploché, tvarové).

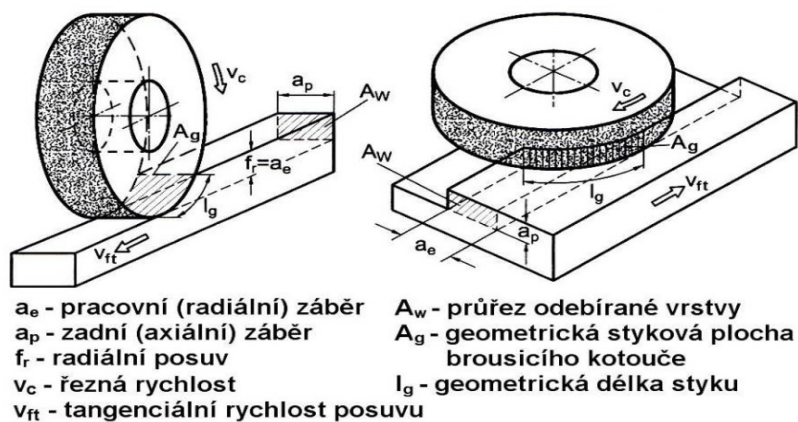
Brousit se dají různé povrchy v různých polohách, proto existuje velké množství druhů broušení. Podle tvaru obrobené plochy se rozlišuje:

- Rovinné broušení (pro rovinné plochy)
- Broušení dokulata (pro rotační plochy)
- Broušení na otáčivém stole (broušení s rotačním posuvem)
- Tvarové broušení (výroba ozubených ploch, závitů,...)
- Kopírovací broušení (na NC a CNC strojích)
- Broušení tvarovými kotouči (pro tvarové plochy)

[3]

#### Rozdělení podle aktivní části brousícího kotouče:

- Obvodové broušení (broušení obvodem kotouče)
- Čelní broušení (broušení čelem kotouče)



Obr. 3.2 Obvodové (vlevo) a čelní (vpravo) broušení [3]

**Rozdělení podle hlavního pohybu posuvu stolu vzhledem k brousícímu kotouči:**

- Axiální broušení (osa kotouče je rovnoběžná s posuvem stolu)
- Radiální broušení (brousící kotouč je radiální k hlavnímu posuvu stolu ve zvoleném bodě D)
- Tangenciální broušení (hlavní posuv stolu je rovnoběžný s vektorem obvodové rychlosti kotouče ve zvoleném bodě D)
- Obvodové zapichovací broušení (posuv stolu je plynulý radiální)
- Čelní zapichovací broušení (posuv stolu je plynulý axiální)

Rovinné broušení - pohyb stolu		Broušení do kulata	
přímochař		Vnější plochy	Vnitřní plochy
Pohyb stolu	Axiální		
	Tangenciální		
	Radiální		

$n_s$  - frekvence otáčení brousícího kotouče,  $n_w$  - frekvence otáčení obrobku,  
 $v_{fa}$  - axiální rychlost posuvu stolu,  $v_{ft}$  - tangenciální rychlost posuvu stolu,  
 $v_{fr}$  - radiální rychlost posuvu kotouče,  
 $f_a$  - axiální posuv stolu,  $f_r$  - radiální posuv kotouče

Obr. 3.3 Obvodové broušení [3]

		Radiální	Tangenciální	Axiální
Pohyb stolu	přímochař			
	otáčivý			

$n_s$  - frekvence otáčení brousícího kotouče,  $n_w$  - frekvence otáčení obrobku,  
 $v_{fa}$  - axiální rychlost posuvu stolu,  $v_{ft}$  - tangenciální rychlost posuvu stolu,  
 $v_{fr}$  - radiální rychlost posuvu kotouče,  
 $f_a$  - axiální posuv stolu,  $f_r$  - radiální posuv kotouče

Obr. 3.4 Čelní broušení [3]



**Broušení jako dokončovací operace má tyto hlavní přednosti:**

- Velkou přesnost (1 až 3  $\mu\text{m}$ ), správnost geometrických tvarů (kruhovitosti i pod 0,2  $\mu\text{m}$ ) a malou drsnost obrobené plochy ( $R_a = 0,8$  až 0,2  $\mu\text{m}$ )
- Broušením lze obrábět i velmi tvrdé materiály (kalenou ocel, slinuté karbidy, tvrzenou litinu atd.)
- Broušením se dají na součásti obrábět velké plochy najednou, zejména při rovinném broušení čelním.
- Broušení je velmi produktivní, jak ukazuje velikost plochy součásti, obrobené za jednotku času.

[3]

**3.2.2 přehled základních metod broušení****Vnější broušení „dokulata“**

- s podélným posuvem
- s příčným posuvem (zapichovací)
- kotoučem nastaveným na rozměr
- krokové (s příčným i podélným posuvem)
- bezhroté (průběžné, zapichovací, broušení na doraz)
- bezhroté v tuhých opěrkách

**Vnitřní broušení do kulata**

- bezhroté
- bezhroté v tuhých opěrkách

**Broušení na plocho (broušení rovinné)**

- obvodem brusného kotouče
- čelem brusného kotouče

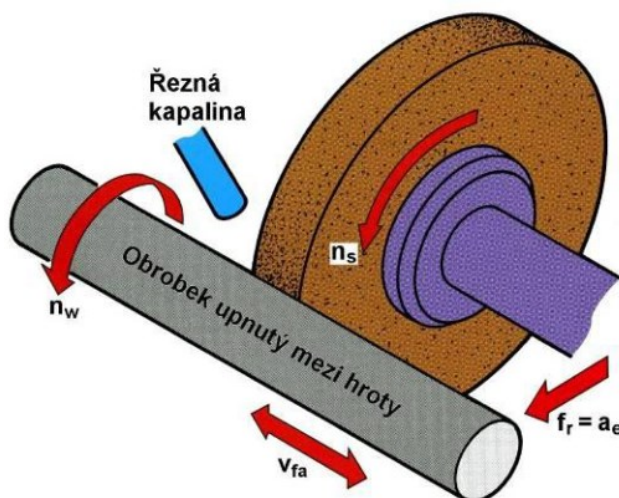
[3]

**3.2.2.1 Obvodové broušení dokulata****Axiálním obvodem broušení vnějších ploch dokulata**

Toto broušení je často využíváno především při obrábění dlouhých rotačních součástí válcového obrábění: obrobek se otáčí mezi hroty (nw) a současně koná posuvový pohyb podél osy obrobku. Kotouč nebo obrobek se radiálně posouvá (fr) o hodnotu pracovního

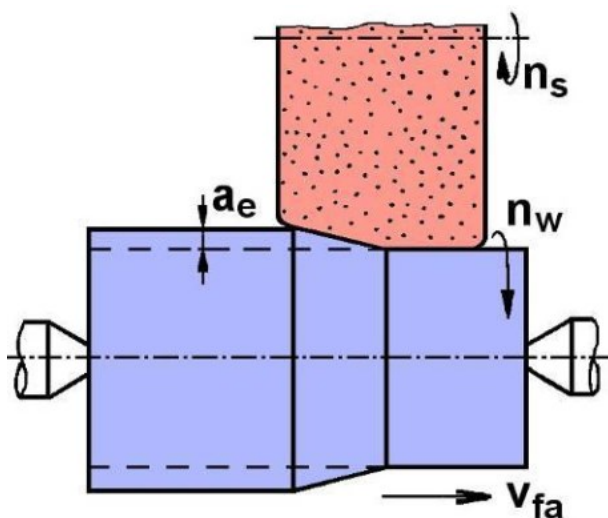


záběru ( $a_e = f_r$ ) na každý zdvih nebo dvojzdvih stolu, a to zajišťuje úběr obráběného materiálu.



Obr. 3.5 Broušení s podélným posuvem [3]

### *Hlubkové obvodové broušení vnějších ploch „dokulata“*



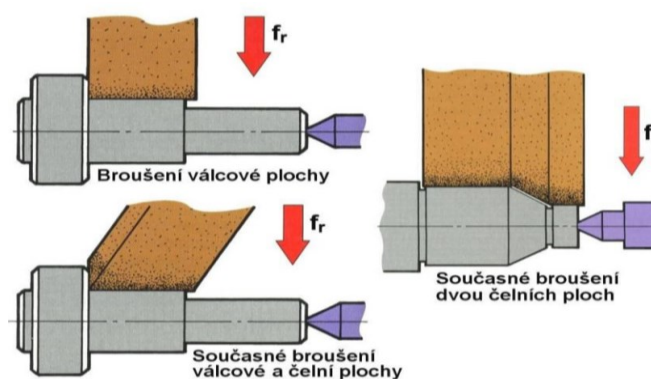
Obr. 3.6 Hlubkové broušení [3]

Při tomto způsobu broušení se při jednom záběru odebírá vrstva 0,1 až 0,5 mm volí se velmi malý posuv. Patří mezi nejproduktivnější metody broušení. Výkon broušení se oproti jiným metodám zvýší o 25% až 75%. Nevýhodou této metody obrábění je zvýšená spotřeba brusných kotoučů.

Následkem rychlého opotřebení kotouče vzniká přechodová kuželová plocha, která v průběhu obrábění postupuje k druhé straně kotouče. Kotouč je potřeba srovnat a opakovat postup obrábění s odstraněním korekce.

### ***Radiální (zapichovací) obvodové broušení vnějších ploch „do kulata“***

U tohoto způsobu broušení je velmi důležitý mít tuhý obrobek. Je možné využití i šikmý posuv a to v případě, že se současně brousí několik ploch. Řezná i obvodová rychlost je srovnatelná s axiálním broušením, ale výkon broušení je až o 80% vyšší než u axiálního broušení.



Obr. 3.7 Radiální obvodové broušení vnějších ploch [3]

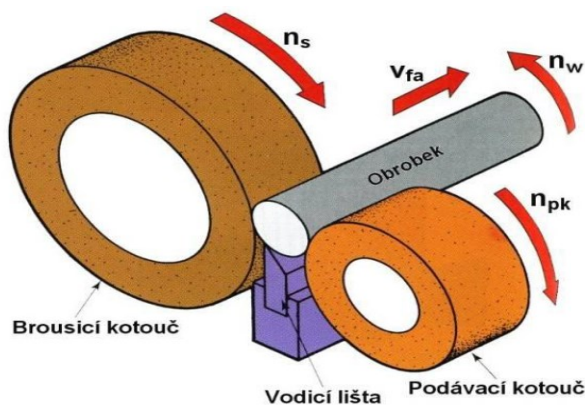
Při broušení válcových, kuželových nebo tvarových ploch se obvykle upíná obrobek (stejně jako při soustružení) mezi hroty. Hlavní řezný pohyb vykonává brusný kotouč.

### ***Bezhroté broušení***

Mezi další způsoby broušení patří bezhroté broušení, které charakterizuje to, že obrobek není upnutý, ale vložen mezi 2 kotouče, z kterých jeden je brusný a druhý podávající (obr. 3.8). Střed obrobku podpírá vodící lišta. Osa obrobku je nad osami obou kotoučů.

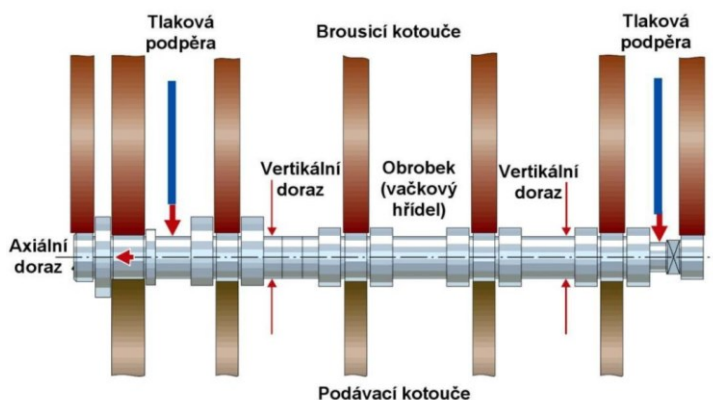
Jedná se o velmi produktivní způsob broušení a využívá se v hromadné i velkosériové výrobě. Často je využíván při broušení součástí válcových ložisek (základní průměry o běžné dráhy vnějších a vnitřních kroužků radiálních ložisek,...).

Při natočení podávajícího kotouče se rozloží jeho obvodová rychlost  $v_{pk}$  na dvě složky:- vodorovnou  $v_{fa}$  (zajišťuje axiální posuvový pohyb) – svislou  $v_w$  (otáčí obrobek příslušnou obvodovou rychlostí). Při zvětšování nebo zmenšování úhlů  $\alpha$  se řídí rychlost posuvu.



Obr. 3.8 Bezhraté průběžné broušení [3]

Dalším způsob bezhratého broušení je bezhraté zapichovací broušení, které se používá u součástí, které mají nákrůžek, u kuželových ploch, popřípadě i u souosých válcových ploch bez středících důlků.



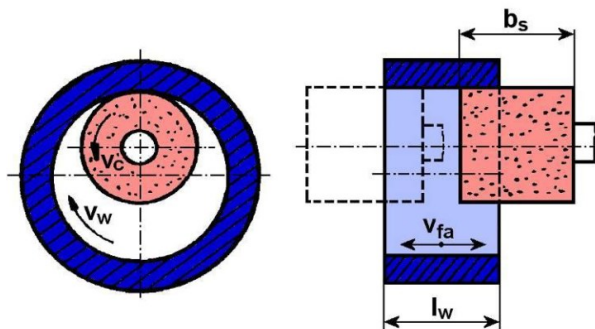
Obr. 3.9 Bezhraté zapichovací broušení válcových ploch [3]

### 3.2.2.2 Obvodové axiální broušení vnitřních ploch a „dokulata“

Využití této metody je především při obrábění obrobku, kdy jeho délka je větší než šířka brousícího kotouče. Kotouč se otáčí uvnitř obráběné díry a posouvá ve směru osy. Obrobek se otáčí kolem své osy proti směru pohybu brousícího kotouče.

Pomocí vnitřního broušení se obrábí především díry. Maximální velikost brousícího kotouče je 0,7 až 0,9 násobek průměru broušené díry. Z toho vyplývá, že u malých děr je nutné použít velmi malé průměry brusných kotoučů. Kotouč se také velmi rychle opotřebovává, zanáší se, a tím ztrácí řeznou schopnost i geometrický tvar. Podmínky vnitřního broušení jsou z tohoto důvodu nepříznivé, a proto se používají jen v případě, kdy

nelze použít jiný způsob výroby přené díry. Existují mnohem efektivnější způsoby výroby otvorů, např: vystružování, vyvrtávání, honování atd.



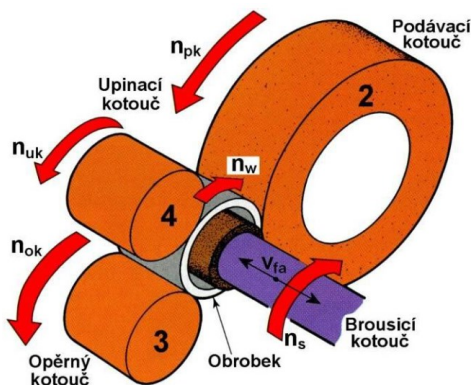
Obr. 3.10 Axiální broušení vnitřních válcových ploch [3]

U malých brousících kotoučů je nutné zajistit velmi vysoké otáčky, které se realizují obtížně. Proto se malé díry brousí nízkými řeznými rychlostmi, což má za následek zhoršení jakost povrchu a snížení výrobnosti.

Zvýšením obvodové rychlosti obrobku zlepšuje odvod tepla a také klesá možnost tvorby opalů na broušeném povrchu. Z toho však vyplývá kratší doba doteku součásti s kotoučem, což má špatný vliv na drsnost obrobené plochy. Zhoršují se také některé technologické podmínky stroje (zvětšení rozstřiku řezné kapaliny).

### ***Bezhraté broušení***

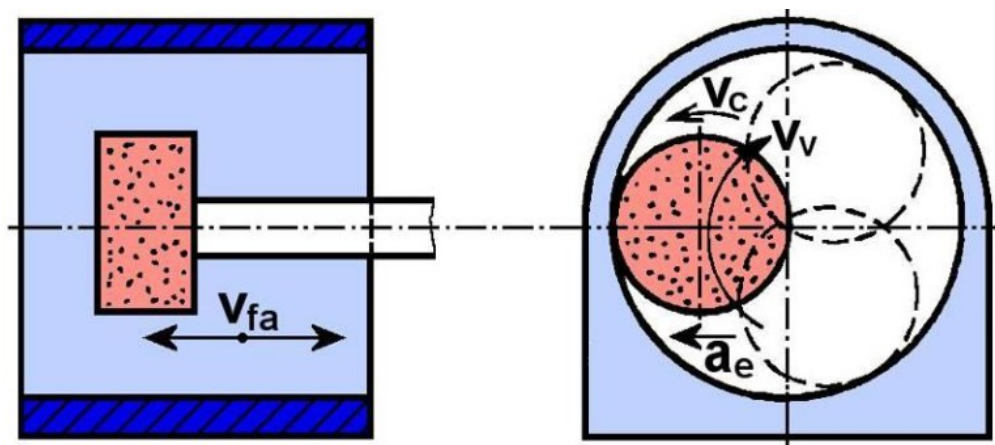
Bezhraté broušení je srovnatelné s axiálním broušením (jsou zachovány veškeré základní pohyby obrobku i brousícího kotouče). Rozdílné je upínání obrobku, kdy je součást vložena mezi 3 kotouče (obr. 3.11), (podávací (2) – zajišťuje otáčení součásti, opěrný (3) – určuje polohu součásti, upínací (4) – přitlačuje součást ke kotoučům 2 a 3 a zajišťuje tak upínání během broušení). Při bezhratém vnitřním broušení je možné dosáhnout větší přesnosti ve srovnání s axiálním vnitřním broušením.



Obr. 3.11 Bezhraté obvodové broušení vnitřních ploch (dokulata) [3]

### ***Planetové broušení***

Otvory velkých a těžkých součástí, které jsou upnuté so sklíčidla a případně obrábění je obtížné, se obrábí planetovým broušením. V tomto případě obrobek stojí a brusný nástroj koná všechny pracovní pohyby – otáčí se okolo vlastní osy, posouvá se ve směru osy broušeného otvoru a současně obíhá okolo osy obrobku. Přesnost planetového broušení je z důvodu malé tuhosti vřetena malá.



Obr. 3.12 Planetové broušení vnitřních válcových ploch [3]

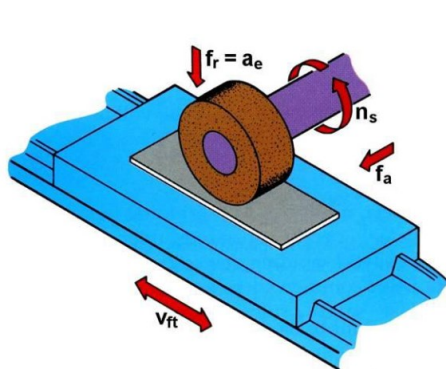
#### **3.2.2.3 Broušení na plocho (broušení rovinné)**

##### ***Obvodové rovinné broušení***

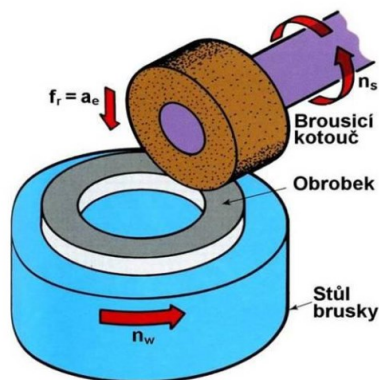
Rovinné broušení se používá obvykle pro obrábění „načisto“ po předcházejícím frézování nebo hoblování. Někdy se používá i místo frézování, především u velmi tvrdých materiálů. Broušení se realizuje obvodem nebo čelem brousícího kotouče.

Při broušení obvodem kotouče vykonává obrobek přímočarý vratný nebo kruhový pohyb. Pracovní stůl brousícího stroje s upnutým obrobkem se posouvá v přímočarém směru o hodnotu příčného posuvu, který závisí na šířce kotouče (obr. 3.13). Výjimečně vykonává obrobek otáčivý pohyb (obr. 3.14).

Obvodové broušení patří mezi nej přesnější způsob broušení rovinných ploch. Používá se hlavně při broušení přesných rovinných ploch, při výrobě nástrojů, měřidel, přípravků, ... je možné brousit i tvarové plochy.



Obr. 3.13 Posuvný pohyb obrobku [3]



Obr. 3.14 Rotační pohyb obrobku [3]

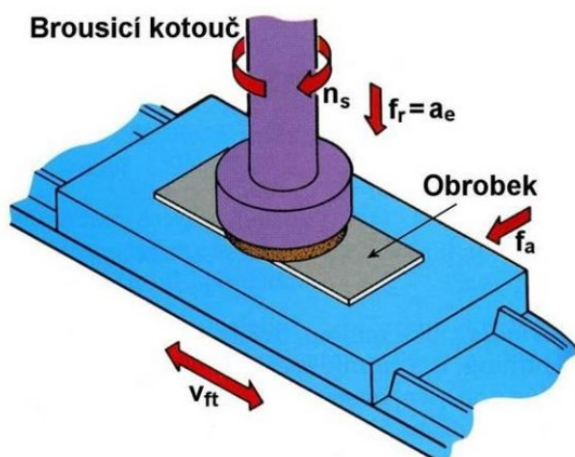
### Čelní broušení

Broušení čelem kotouče není tak přesné jako u broušení obvodového, je však mnohem výkonnější. Obrobek, podobně jako u obvodového broušení, může vykonávat pohyb *otáčivý* nebo *přímočarý*. Při přímočarém pohybu stolu se v sériové a hromadné výrobě brousí zejména menší součásti, např. čelní plochy ozubených kol, pístní kroužky, čela kroužků kuličkových ložisek atd.

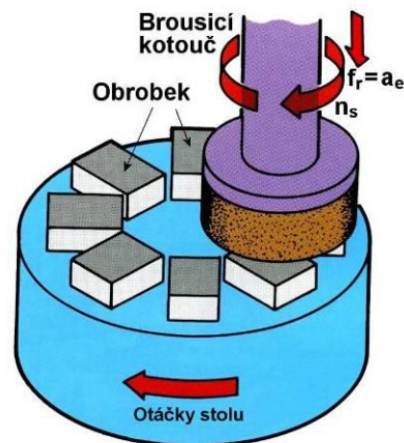
Výkonné čelní broušení zajišťují speciální brusky se dvěma protilehlými brousícími kotouči. Při broušení čelem kotouče se pro větší průměry nejčastěji používají segmentové hlavy. Mají několik předností – zejména vyšší využití brousícího materiálu, lepší odstraňování třísek, řezná kapalina má lepší přístup do místa broušení, styčné plochy nástroje s obrobkem jsou menší a broušená součást se méně zahřívá.

U rovinných brusek pracujících s celistvými kotouči se někdy vřeteno skloní k obráběné ploše o několik stupňů (max. o  $4^\circ$ ), aby se změnila styčná plocha nástroje a součásti. Tím se zlepší řezné podmínky, ulehčí se odstraňování třísky a chlazení ale obrobená plocha vykazuje horší rovinnost.





Obr. 3.14 Otáčivý pohyb obrobku [3]



Obr. 3.15 Přímočarý pohyb obrobku [3]

### ***Tvarové broušení***

Mimo jednoduchých rovinných, válcových a kuželových ploch je nutné často brousit i tvarové plochy, někdy i často složitých tvaru, např. u kotoučových nožů, stopkových fréz, vrtáků, šablon, nebo různých tvarových kalibrů. Takové tvary se brousí v podstatě dvěma způsoby:

- profilovými kotouči
- kotouči s obvyklým tvarem, přičemž kopírovací pohyb vykonává pomocí šablon brousící kotouč nebo součást, příp. je tvar definován číslicově v programovaných blocích a realizován pomocí číslicového řízení (CNC brusky).

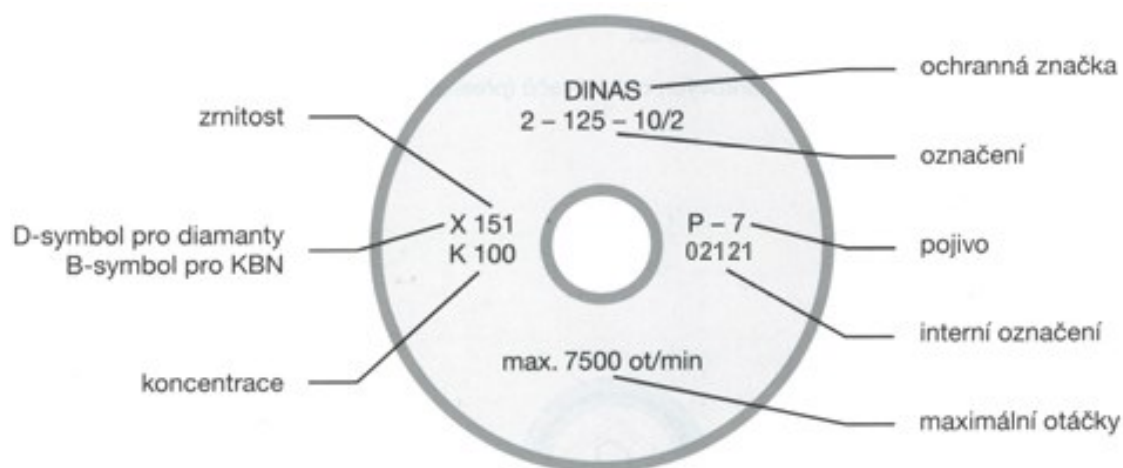
Pro tvarové broušení se používají jednoduché nebo speciálně upravené (kopírovací) hrotové brusky, dále brusky bezhroté, rovinné brusky s vodorovným vřetenem, speciální brusky a brusky řízené číslicově. Obecné tvary na obvodu kotouče se pro přesné práce profilují orovnáváním pomocí diamantu upevněného v přípravku, jehož kopírovací palec se pohybuje po šabloně. Při méně přesných pracích se vytlačuje profil v brousícím kotouči ocelovými kladkami. Přené profily, tvořené kruhovými oblouky, se tvarují diamantem upevněným v otočných přípravcích (brousících kolébkách). [3]

### **3.3 Brousící nástroje**

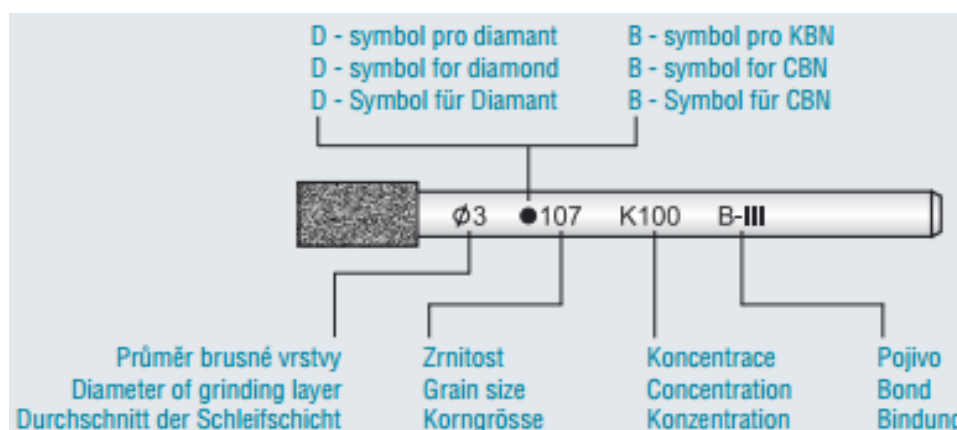
Jsou to nástroje, které obsahují tvrdá zrna a jsou spojena různými pojivy podle broušeného materiálu. Kotouče jsou různých tvarů a velikostí, mohou mít tvar tělísek, segmentu, pásů nebo tvar kotouče. Nejpoužívanější tvar kotouče, který se používá, je ve tvaru kotouče.

### 3.3.1 Brousící kotouče ze supertvrdých materiálů

Základem u brusných kotoučů je těleso kotouče, na kterém je nanесena vrstva brusiva, obsahující - diamant nebo KBN (kubický nitrid bóru), obsahující zrna brusiva rozptýlená v pojivu. Materiály na tělesa kotoučů se nejčastěji používají z hliníku, oceli, bronzu, kompozitních materiálů apod.. Brusné tělíska se vyrábí z oceli, tvrdokovu nebo napájením tvrdokovové stopky s ocelí. Značení kotoučů jsou různá podle výrobců brusných nástrojů. Firma Dinas Czech, spol. s.r.o., Šumperk používá značení na (Obr. 3.16).



Obr. 3.16 Příklad značení kotoučů firmy Dinas Šumperk. [5]



Obr. 3.17 Příklad značení vnitřních kotoučů firmy Urdiamant [6]

### Druh brusiva

Diamant – je čistý prvek, uhlík. Je nejtvrdší přírodní látkou s teplotou tavení 4000°C, vysokým indexem lomu a nízkou reaktivitou, je elektricky nevodivý, ale má nejlepší známou tepelnou vodivost (při teplotě 20°C: typ Ia = 600 až 1000, typ II = 2000 až 4000, typ IIIa až  $1,5 \cdot 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ).

[10]



Fyzikálně mechanické vlastnosti diamantu:

- měrná hustota: 3,48 až 3,56 g.cm<sup>-3</sup>,
- mikrotrvdost: 100 GPa
- modul pružnosti: 7,09 až 9,11.10<sup>5</sup>MPa
- pevnost v ohybu: 294 MPa
- součinitel tepelné vodivosti: 146,6 W · m<sup>-1</sup> · K<sup>-1</sup>
- součinitel tepelné roztažnosti: 0,9 · 10<sup>-6</sup> · K<sup>-1</sup>
- teplotní stabilita do 700 až 800°C

[14]

Technické diamanty se používají na výrobu různých druhů diamantových brusných kotoučů, řezných tělísek na jemné soustružení a vyvrtávání barevných kovů, honovacích nástrojů apod.

Syntetické diamanty se vyrábí krystalizací amorfního uhlíku, resp. grafitu za přítomnosti katalyzátorů při vysokých teplotách a tlaků na krystalickou modifikaci diamantu. Z hlediska chemického složení, krystalové struktury, teplotní stability, tepelné vodivosti a měrné hmotnosti se neliší od přírodního diamantu. Vysokou tvrdostí a vyhovující pevností se zabezpečuje vysoká řezivost, která převyšuje i řezivost přírodních diamantů. Se zřetelem na nízké teploty oxidace (700 až 800 °C). Nejsou v hodné na obrábění materiálů, při kterých jsou vystavené vysokoteplotnímu namáhání. [14]

Diamant je externě chemicky inertní, nelze jej ovlivnit žádnými kyselinami ani jinými chemikáliemi, s výjimkou těch, které při vysokých teplotách působí jako oxidační činitelé – jediné tyto chemikálie umožňují efektivně působit na diamant při teplotách pod ~1030°C při normálních tlacích.

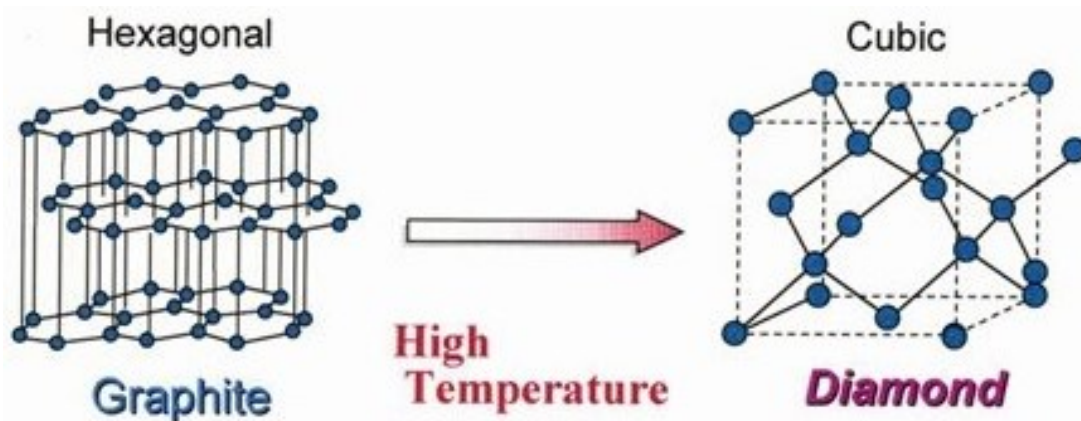
Mřížkový parametr diamantu se pohybuje od 0,356683 ± 0,000001nm do 0,356725 ± 0,000003 nm (při teplotě 25°C), minimální meziatomová vzdálenost je 0,1545 nm.

Protože atomové poloměry dusíku a uhlíku jsou podobné, mohou být atomu uhlíku snadno nahrazeny atomy dusíku. Diamantové krystaly se podle koncentrace dusíku rozdělují na čtyři typy.

- Diamanty typu Ia – V poměrně velkém množství obsahují dusík a nečistoty (až do 0,2%), které se vylučují ve formě malých shluků. Obsahují také destičky připisované dusíkovým nečistotám, jejichž přesná struktury není známa. Sem patří většina přírodních diamantů.

- Diamanty typu Ib – Také obsahují dusík ve formě nečistot, ty jsou ale rozptýleny v substituční formě. Sem patří téměř všechny syntetické diamanty.
- Diamanty typu IIa – Prakticky bez dusíkových nečistot. Velmi vzácné v přírodní formě, mají zlepšené optické a tepelné vodivosti.
- Diamanty typu IIb – velmi čisté diamanty, zpravidla modré barvy, které mají vlastnosti polovodičů. Velmi vzácné v přírodní formě. U syntetických diamantů lze polovodiče vlastnosti vyvolat včlenění boru.

Princip výroby syntetického diamantu z grafitu spočívá v přeměně hexagonální mřížky grafitu na kubickou mřížku diamantu (Obr. 3.18), při vysokých teplotách a tlacích, za přítomnosti malého množství katalyzátorů, které rozpouští grafický uhlík a umožňují jeho krystalizaci ve formě diamantu i při teplotách nižších než v přírodních podmínkách. Jako katalyzátory se nejčastěji používají přechodové kovy (např. Cr, Mn, Fe, Co, Ni) nebo jejich slitiny (Fe-Ni, Co-Fe, Mn-Ni) či sloučeniny ( $\text{Fe}_3\text{N}$ ) a slitiny Nb-Cu. [10]



Obr. 3.18 schematické znázornění elementární buňky grafitu a diamantu [17]

Kubický nitrid bóru – Je to syntetický, velmi tvrdý materiál, vyrobený v podstatě stejnou technologií jako syntetický diamant, a to překrystalizováním chemického složení: 56,4 % N, 43,6% B. Je to materiál s říditelnými fyzikálními vlastnostmi podle výchozích složek a parametrů syntézy. [14]

Fyzikální vlastnosti:

- Hustota: 3,4 – 3,5 g.cm<sup>-3</sup>,
- Mikrotvrdost: 80 GPa, (diamant 100 GPa)
- Teplotní stálost: 1500 až 1600 °C,

[14]

**Tvar kotouče**

Kotouče se označují typovým číslem, který označuje tvar kotouče a jsou standardizované normou ISO 6104 a 6168.

**Rozměry kotoučů**

Rozměry kotoučů jsou různé podle výrobců, kteří vyrábí brusné nástroje. Rozměry jsou uvedené v tabulce příslušných typu, které obsahují základní rozměry tj. průměr kotouče, průměr upínacího otvoru, šířka a tvar kotouče.

Typ kotouče se volí podle druhu brusky. Čím větší kotouč tím lepší kinematické vlastnosti, a tím i lepší ochlazování brusiva.

Tloušťka vrstvy se pohybuje převážně v rozmezí 1,5 až 4 mm, v závislosti na typu pojiva a kotouče. Zvýšení brousící vrstvy sice zvýší prodejní cenu nástroje o vyšší obsahu brusiva, ale náklady na broušení se sníží. Důležité je, aby byla při broušení využívána celá šířka brousící vrstvy (neplatí u tvarových kotoučů). Toho lze dosáhnout posuvem obrobku nebo brousícího kotouče přes celou broušenou plochu, nebo použitím užší brousící vrstvy než je šířka broušené plochy (platí u čelních kotoučů). Úzká brousící vrstva umožňuje vyšší výkon broušení s malým vývinem tepla. Příliš široká brousící vrstva způsobuje vysokou teplotu v místě řezu, což může mít vliv na snížení výkonu broušení. [6] [7]

**Zrnitost**

Kvalitu brousícího kotouče určují především vlastnosti suprtvrdých brousících materiálů – zrnitost a koncentrace. Zrnitost má zásadní význam pro výkon broušení a jakost broušeného povrchu. Zrnitost je udávána čísly, odpovídající velikosti rozměru zrn brusiva v mikrometrech. [7] Které jsou definovány v tabulce 1. zrnitost diamantu a KNB zrn.

Tab.1. Srovnání zrnitosti diamantu a KNB zrn [6]

<b>ZRNITOST</b>		<b>POUŽITÍ</b>	<b>DRSNOST POVRCHU Ra</b>
<b>DIAMANT</b>	<b>KNB</b>		
<b>D 213 D181 D151</b>	<b>B251 B213 B181</b>	<b>Výkonné broušení a hrubování, kde je žádán především vysoký výkon broušení</b>	<b>1,2</b>
<b>D126 D107 D91</b>	<b>B151 B126 B107</b>	<b>Výkonné broušení a hrubovací operace</b>	<b>0,8</b>
<b>D76 D64</b>	<b>B91 B76</b>	<b>Střední broušení, ostření řezných nástrojů</b>	<b>0,4</b>
<b>D54 D46</b>	<b>B64 B54</b>	<b>Dokončovací operace</b>	<b>0,2</b>
<b>D40 D39</b>	<b>B46</b>	<b>Lapování, jemné broušení</b>	<b>0,1</b>
<b>D28 D20 D15</b>		<b>Leštění</b>	<b>0,08</b>
<b>D10 D7</b>		<b>Leštění</b>	<b>0,08</b>
<b>D6</b>		<b>leštění</b>	<b>0,025</b>

### 3.4 Rozdělení pojiva

Pojivo ovlivňuje výkonnost broušení, životnost broušení, tvarovou stálost, samoostření brusných zrn apod. Výběrem pojiva ovlivníme, zda diamantový nebo KBN kotouč brousí s velkým výkonem broušení při malém přitlaku, avšak s kratší životností (měkké pojivo), nebo s velkou životností při nižším výkonu a větším přitlaku (tvrdé pojivo). Pro volbu pojiva je kromě broušeného materiálu a druhu brusiva důležité určit druh operace a způsob broušení. [6]

#### 3.4.1 Kovové pojivo (K)

Kovové pojivo (K) – je tvrdší než pryskyřičné. Používá se převážně pro broušení s diamantem. Kovové pojivo se používá výhradně s chlazením. Může být i pojivo SKM, bronzové a galvanické.

Pojivo **SKM** je velmi tvrdé. Využívá se pro broušení otvorů (otvorové), kde nedostatečná brousící rychlost je eliminována vysokou tvrdostí pojiva a koncentrací brusiva.

Bronzové pojivo **BZ-1** až **BZ-8** se převážně používají pro broušení slinutých karbidů (**SK**). Čím je vyšší číslo, tím je větší tvrdost pojiva.

Bronzové pojivo **BZ-S** se používá na broušení keramiky, skla, porcelánu apod. (KE). V závislosti na druhu broušeného materiálu, druhu operace a způsobu broušení jsem schopni regulovat tvrdost vazby BZ-S.

Bronzové pojivo **EB-V** je určeno převážně pro elektrolytické broušení.

Speciální pojivo **BZ-9** je určeno pro broušení čelními kotouči. [6]

### 3.4.2 galvanické pojivo (Ni)

Galvanické pojivo (**Ni**) se používá všude tam, kde nelze použít klasické technologie výroby brousících kotoučů s diamantem a KBN. Většinou se jedná o tvarově složité nástroje. Brusivo v jedné vrstvě je ukotveno k ocelovému nebo tvrdokovovému tělesu galvanicky nanášeným povlakem niklu. K výhodám kotoučů s galvanickým pojivem patří vysoký brousící výkon, nízké pořizovací náklady, vysoká stálost tvaru a nízký vývin tepla. Nevýhodou je malá životnost daná pouze jednou vrstvou diamantu, na tělísku kotouče. [6]

### 3.4.3 Pryskeřičné pojivo

Pryskeřičné pojivo (**P**) je nejpoužívanějším pojivem, protože se vyznačuje vysokou produktivitou broušení, nízkým vývinem tepla, dobrými samoostřicími vlastnostmi. Pojiva jsou označena **B-I** až **B-XVII** a používají se s chlazením. Pryskeřičná pojiva lze použít i bez chlazení za určitých podmínek (úzká brousící vrstva, nižší obvodová rychlost, přítlak, posuv, krátký strojní čas, nižší koncentrace apod.) [6]

## 3.5 Výrobní proces SK

Technologický proces v práškové metalurgii sestává z přípravy prášků, tvarování výrobků, slinování, dokončovacích operací. Výchozí surovinou pro slinuté materiály je kovový prášek nebo směsi různých druhů kovových prášků, popř. směsi kovových prášků s nekovy. Jejich druh, výroba a příprava jsou rozhodující pro výrobu slinutých součástí.

Využití těchto výrobků je v současné době poměrně široké jako spékané karbidy, žáruvzdorné a žárupevné materiály, konstrukční strojírenské materiály, elektrotechnické materiály a další. [2]

### **3.6 Příprava prášků**

Prášky je možno vyrobit pochody chemickými (chemická redukce), fyzikálně chemickými (elektrochemická redukce, selektivní rozpouštění hranic zrn, kondensace z plynné fáze), nebo mechanickými (rozprašování kapalného kovu, drcení, mletí).

#### ***Chemická redukce***

Při chemické redukci z pevných sloučenin vodíkem, uhlíkem, uhlovodíky se vyrábí práškové Fe, Ni, Cu, Co, Mo, W. Redukcí vzniklé částice mají zrnitost 0,1 – 30  $\mu\text{m}$ . Redukcí roztavených kovových solí se vyrábí prášek o zrnitosti 0,1 – 10  $\mu\text{m}$  (Au, Ag, Cu, Sn, Zn, Co).

#### ***Elektrochemická redukce***

Při této technologii se vylučuje kov buď z taveniny, nebo vodního roztoku. Podmínkou je volba vhodného napětí, aby vylučovaný kov byl pórovitý a nikoliv kompaktní. Vzniklá kovová houba se drtí mechanicky.

#### ***Kondensace z plynné fáze***

Tato výroba spočívá ve srážení kovových pár, vzniklých destilací kovu ve volném prostoru nebo cloně chladicího plynu. Průmyslově se tak vyrábí zinkový prášek.

#### ***Rozprašování kapalného kovu***

Jde o velmi produktivní výrobu kovových prášků. Nízkotavitelné kovy se rozprašují vzduchem, dusíkem nebo vodní párou. Železo a litiny se rozprašují vodou nebo vzduchem.

#### ***Drcení a mletí***

Křehké materiály se při mletí drtí a získávají se prášky, jejichž částice mají nepravidelný ostrohranný tvar, tvárné materiály se plasticky deformují a nakonec trhají. Jsou velmi silně deformačně zpevněny a částice mají značné vnitřní pnutí. Mletí se provádí v kulových nebo vibračních mlýnech, domílání ve vířivých mlýnech.

### ***Míchání***

Míchání se provádí buď za sucha nebo za mokra v různých zařízeních. Používá se buď bubny se šikmou excentricky uloženou osou na suchá míchání měkkých kovů resp. slitin, kovů s grafitem apod. Dokonalého promíchání se dosahuje v kulových mlýnech, kdy ale současně dochází k drcení zpevňování částic. Tření je možné snížit mícháním za mokra ve vodě, alkoholu apod. Měkké kovy nelze míchat v kulových mlýnech. [2]

### **3.7 Lisování prášků**

Lisováním se upravují kovové prášky a jejich směsi do tvaru výrobků. Při lisování se vlastnosti prášků mění: zmenšuje se pórovitost, dochází k plastické deformaci částic a zvětšuje se styková plocha mezi zrnky. Lisovací tlaky jsou 200 až 690 MPa. Podmínky lisování jsou ovlivněny lisovacím tlakem, způsobem lisování (lisování za studena, za tepla, izostatické, protlačování, vibrační lisování apod.), velikostí a tvarem výlisku a přísadami pro usnadnění lisování. Lisováním se vytvoří lepší kontakt mezi částicemi prášku, což umožňuje při zvýšené teplotě dokonalou difúzi v celém průřezu polotovaru i uplatnění dalších pochodů. Pevnost výlisku stoupá přibližně úměrně s lisovacím tlakem. [13]

### **3.8 Slinování**

Slinováním se rozumí tepelné působení na polotovar zhotovený předchozím lisováním, obecněji zhutněním. Teplota spékání závisí na druhu spojovaného materiálu a na jeho složení. Slinováním se dosahuje požadovaných mechanických a fyzikálních vlastností, jako pevnost, tažnost, tvrdost a elektrické vodivosti.

V případě slinování polotovarů vytvořených z jednoho prášku, se volí teplota slinování ve výši asi 65% až 80 % teploty jeho tavení. Ke spojování částic prášku dochází difúzí. Prášek má oproti tělesu podstatně větší povrch, z čehož vyplývá i vysoká povrchová energie. Povrchová energie je hnací silou slinování, neboť se výlisek snaží povrchovou energii snížit. Čím jsou prášky menší, tím je specifický povrch větší a o to rychleji slinování probíhá. Difuze se uvede do chodu dodáním aktivací energie ve formě tepla. Nejdříve probíhá difuze povrchová a na hranicích zrn, kde dochází mezi původně oddělenými částicemi ke vzniku a narůstání mezičásticových spojení. Následně při vyšší teplotě probíhá difuze objemová, kde dochází ke zmenšování středního rozměru pórů. Dodáním plastické deformace (zvýšením povrchové energie) se urychlí proces slinování. V konečném stádiu spékání se ztrácí spojení pórů s jednotlivými částicemi prášku.

U polotovarů, vytvořených ze směsi prášků může dojít ke spojení prachových částic dvojm způsobem. V prvním případě je teplota slinování nižší než teplota tavení všech složek směsi a ke spojení dochází difusí. Ve druhém případě je teplota slinování vyšší než teplota tavení některé nebo některých složek, přičemž alespoň jedna ze složek zůstává v tuhém stavu. Pak dochází ke spojení tuhých částic smáčením kapalnou fází a následující difusí (podobně jako při pájení). Je důležité, aby sočivost tuhé fáze fází tekutou byla co největší. Jen při splnění této podmínky budou jednotlivé částice dokonale pokryté tekutou fází, která je navzájem odděluje a spojuje. Smáčivost je možno ovlivnit legujícími prvky. V případě nebezpečí oxidace prášků nebo jejich jiného nežádoucího chemického ovlivnění se slinování provádí v ochranné atmosféře nebo ve vakuu. [9] [13]



#### 4. Návrh technologie broušení

Při návrhu nové technologie broušení si musíme uvědomit spousta faktorů, které mohou ovlivňovat některé věci, jako jsou – fyzikální, chemické vlastnosti, geometrie nástroje, řezné podmínky, řezné prostředí, atd. Další problém nám nastává, při volbě brusných kotoučů, které musí být tvrdší než obráběný materiál. Kotouče pro obrábění tvrdých materiálu jako jsou slinuté karbidy, keramické a jiné se volí s diamantovými zrny, nanášené různými metodami. Při mém návrhu se budou používat kotouče s kovovou vazbou a kotouče s galvanickým nanášením diamantových zrn na tvrdokovové stopky.

##### 4.1 Volba obráběcího stroje

Volba vhodného stroje není jednoduchá. Stroj se musí vybírat dle druhu obrábění, na jaký se bude využívat. Ovlivňují to hlavně podmínky - jakosti výroby, produktivity a hospodárnosti výroby. Nejdůležitějším aspektem je, aby stroj byl využíván vzhledem své pořizovací ceně, velikosti a hmotnosti obrobků, podle velikosti dávek výroby.

Pro výrobu byla zvolena bruska **Combitec CT-750 – s B-osou**. Stroj disponuje s dvěma pracovními vřeteny. Stroj má dobrou tuhost, aby dosahoval velmi přesných rozměrů, proto můžeme brousit složité tvary s pomocí B-osy, které se dříve nemohli brousit na jednom stroji. Bruska je Švýcarské společnosti, která se zabývá výrobou brusek speciálně na broušení tvrdokovových materiálů.



Obr. 4.1 CNC brusky Combitec CT [20]

Tab. 2 Technické údaje stroje Combitec CT-750 [20]

Brousící centrum CT - 750	
Rozměry stroje B x T x H	1780 x 1350 x 1805
Osa X	
Pojezd	360 mm
Rozlišení	0,0005 mm
Výkyv (posuv)	0 - 14'000 mm/min
Osa Z	
Pojezd	250 mm
Rozlišení	0,0005 mm
Výkyv (posuv)	0 – 14'000 mm/min
Osa B	
pojezd	+80°/-91°
Pojezd s orovnávací jednotkou	+1°/-91°
rozlišení	0,001°
Výkyv (posuv)	25°/sec.
Revolverová hlava	
Revolverové pozice	2
Čas při výměně	3 sec.
Brousící vřeteník GMN	Ø100/45000 min-1
Zakončení vřeteníků	22/38

## 4.2 Definice tvaru a rozměru výrobku

Výrobní varianty lze volit přidáním resp. vyjmutím jednotlivých částí podprogramů.

Programy pro jednotlivé tvary kontur zpracovává přímo obsluha stroje za pomoci software Combitec SimCT. Program SimCT nám slouží k nakreslení požadovaného tvaru, který by se měl vyrábět. Po nakreslení tvaru se označí plochy, které by se měly obrábět za pomoci brusných kotoučů a vygeneruje se program i se simulací.

### 4.2.1 Základní rozměry výrobků

Vnitřní průměr kontury  $\varnothing d = 10$  až 80 mm

Vnější (upínací) průměr výrobku  $\varnothing D =$  až 160 mm (upínání do sklíčidla)

$\varnothing D =$  až 220 mm (upínání na magnetickou hlavu)

Maximální výška výrobku – v závislosti na vnitřní  $\varnothing d$  a tedy i délce upínací části brousícího kotouče

Maximální hmotnost výrobku 15 kg – v tříčelist'ová sklíčidla

Maximální hmotnost výrobku 10 (12)kg – magnetická upínací hlavička, zde s ohledem na velikost a kvalitu ( $R_a$  a rovinnost) upínací plochy ocelové objímky – nelze exaktně stanovit – pouze na základě zkušeností obsluhy (výrobce neudává žádnou závislost velikosti upínací plochy a max. hmotnosti).

#### 4.2.2 Dosahované parametry přesnosti kontur

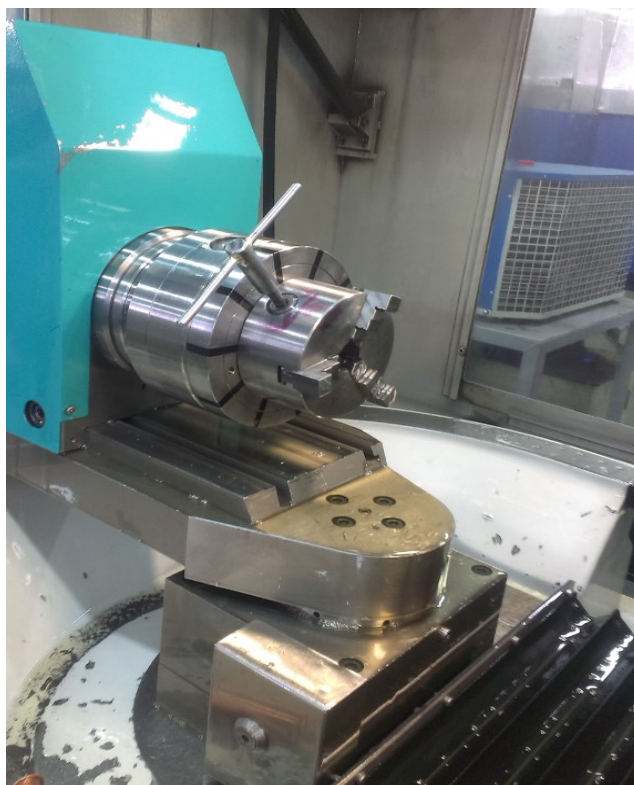
- tolerance vnitřního průměru  $\varnothing d = \pm 0,003$  mm,
- přesnost tangenciálního napojení částí kontur v 0,001 mm,
- tvarová přesnost kontury až 0,005 mm,
- dosahovaná drsnost povrchu až  $R_a$  0,03 – 0,05,

#### 4.3 Pracovní vřeteník a upínání výrobků

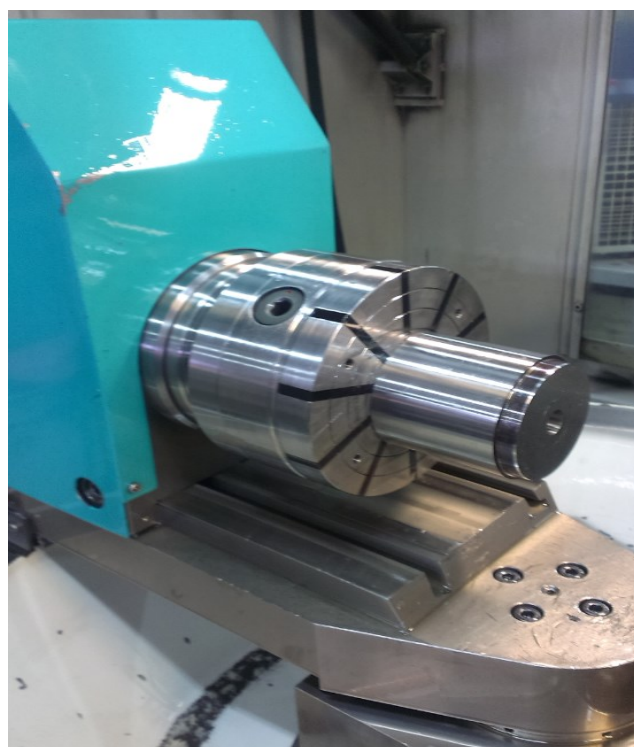
Pracovní vřeteník je opatřen ukončením v provedení A 2.4, které umožňuje přímou montáž všech upínacích přípravků, které byly dodány jako příslušenství stroje.

##### 4.3.1 Upínání obrobků – max. upínací rozměry výrobků

- sklíčidlo  $\varnothing 125$  mm – pro tažné kroužky neobjímkované a objímkované tažné kroužky i matrice s max. vnějším průměrem  $\varnothing D = 120$  mm, max. hmotnost 12 kg.
- sklíčidlo  $\varnothing 160$  mm - pro tažné kroužky neobjímkované a objímkované tažné kroužky i matrice s max. vnějším průměrem  $\varnothing D = 160$  mm, max. hmotnost 15 kg.
- Upínání na magnetickou hlavu + výměnných mezi desek, dle velikosti broušeného vnitřního průměru výrobku. Pouze pro kroužky a matrice opatřené ocelovou objímkou – upínací čelní plochy musí být nabroušeny v rovinné toleranci max. 0,02 s max.  $R_a$  0,4. Maximální vnější průměr výrobku  $\varnothing D = 220$  mm, max. výška výrobku pro průměr nad 200 mm je 30 mm s nutným dodržáním max. hmotnosti 10(12) kg – pouze velkou upínací plochu objímky – nutno u těchto rozměrů získat praktické zkušenosti.



Obr. 4.2 Upnutí sklíčidla na magnetku [15]



Obr. 4.3 Upínání obrobků přímo na magnetickou hlavu [15]

#### 4.3.2 Upínání a přepínání výrobků – výšky obrobků

- Přestavování pracovního vřeteníku – při přípravě stroje pro broušení další dávky výrobků s rozdílnou výškou od předchozí je nutno provést přestavení pracovního vřeteníku do předepsané polohy vzhledem k bodu otáčení B-osy – po nastavení polohy je nutno utahovat šrouby pro fixaci vřeteníku vždy momentovým klíčem silou 20 Nm, aby byla zajištěna nulová poloha B-osy vzhledem k ose pracovního vřeteníku.
- Přepínání výrobků při dělené operaci broušení – u broušených tvarů, kde je horní i spodní část kontury ukončena tvarem – rádius - kužel- rádius-čelo(jedná se hlavně o tažirenské matrice) je nutno celou geometrii brousit postupně s obou stran, je nutné při přepnutí obrobku provést nové nulové nastavení na čelo obrobku.
- Max. výšky obrobků – nelze exaktně stanovit pro všechny případy, je závislá na velikosti vnitřního průměru x tvaru kontury x velikosti brusného kotouče x konstrukce kotouče x způsobu upnutí brusného kotouče, převzato ze zkušeností firmy Combitec.

#### Dle doporučení firmy Combitec:

pro  $\varnothing d = 10$  až 20 mm – doporučená max. výška 30 mm

pro  $\varnothing d = 20$  až 40 mm – doporučená max. výška 50 mm

pro  $\varnothing d = 40$  až 80 mm – doporučená max. výška 60 mm

A to i v případě oboustranného broušení, vždy při dodržení požadavku hmotnosti obrobku dle použitého druhu upínání výrobku.

#### 4.4 Návrh brusných nástrojů

Nástroj k broušení je brusný kotouč. Převážně se skládá ze zrn brusného materiálu složený v pevný celek. Může se také jednat i o ocelové nebo tvrdokovové těleso (kotouč), na který je nanesená vrstva galvanicky. Tvrdost brusných zrn a velké řezné rychlosti, umožňují brousit všechny známé kovové a nekovové materiály. Broušením lze dosáhnout velmi jakostního povrchu a velké geometrické i tvarové přesnosti.

Při volbě brusného kotouče hraje hlavní roli brusivo, velikost brusných zrn, tvrdost brusného materiálu, tvar kotouče a struktura kotouče a pojiva, kterým jsou brusná zrna připevněna.

**Parametry se stanovují podle těchto činitelů:**

- druh broušeného materiálu a jeho fyzikální vlastnosti
- způsob broušení s přihlédnutím k tvaru a velikosti styčné plochy kotouče a obrobku
- tvar broušené plochy
- drsnosti broušené plochy
- drsnost povrchu, již se má broušením dosáhnout
- množství ubíraného materiálu.

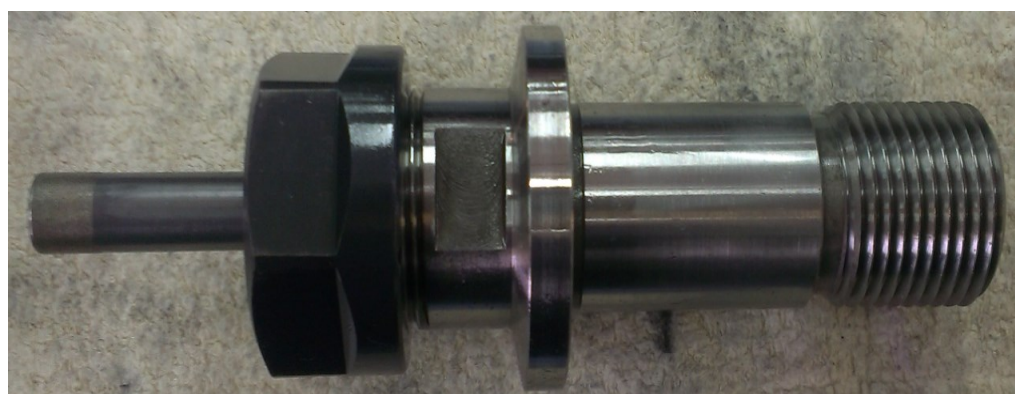
[8]

**4.4.1 Upínání brusných kotoučů**

Brousící vřeteno GMN 100/45000 min<sup>-1</sup> jsou opatřena ukončením pro upínací trny tvaru D 22/38. Brusné kotouče jsou upínány na upínací trny nebo do kleštin. Brusné tělíška upnuté na trnu se používají na broušení větších otvorů, stopkové kotouče upnuté v kleštinách se používají pro broušení malých otvorů.



Obr. 4.4 Upínací trn s nalepeným brusným tělískem [15]



Obr. 4.5 Upínání kotouče pomocí kleštiny [15]



#### 4.4.2 Volba nástrojů pro broušení zadané součásti

##### Hrubování:

Pro hrubovací operace byl zvolen kotouč s galvanickou vazbou brusiva od firmy HESON se zrnitosti D151 o průměru 8 mm, na tvrdokovové stopce.



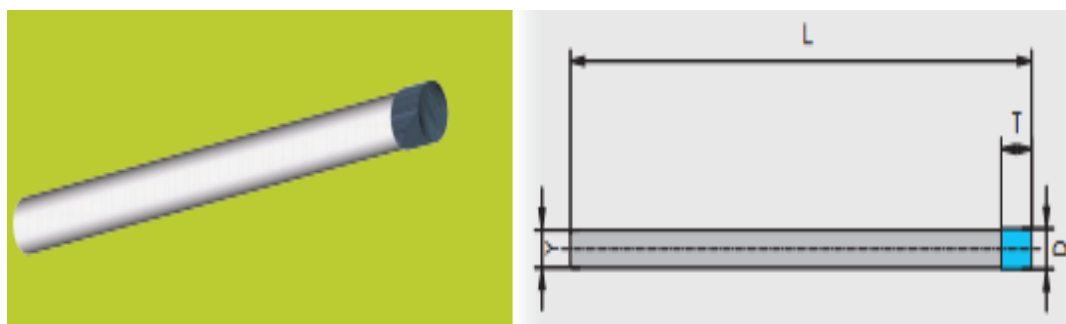
Obr. 4.6 Rozměry brusného kotouče firmy (HESON) [18]

Tab. 3 Rozměry brusného kotouče (HESON) [18]

Y-průměr stopky	L-délka stopky	T-délka brusné části	D-průměr brusné části
10 mm	100 mm	10	10,4

##### Dokončovací:

Pro dokončovací operaci volím kotouč s galvanickou vazbou od firmy DIAMETAL se zrnitosti D46 o průměru 8 mm, na tvrdokovové stopce.



Obr. 4.7 Rozměry brusného kotouče firmy (DIAMATAL) [19]

Tab. 4 Rozměry brusného kotouče (DIAMATAL) [19]

Y-průměr stopky	L-délka stopky	T-délka brusné části	D-průměr brusné části
8h6 mm	80 mm	8 mm	8,2

**Lapování:**

Pro lapovací operaci volím kotouč s pryskyřičnou vazbou od firmy DIACARB se zrnitostí D15 o průměru 8 mm, na tvrdokovové stopce. Firma DIACARB nemá na svých stránkách technické údaje.

**4.4.3 Upínání kotoučů pro zadanou součást**

Při volbě broušené součásti volím stopkové kotouče, které jsou upnuty pomocí kleštin EX20 UP do kleštinového upínače s upínacím trnem tvaru D 22/38. Kleštinové upínače jsou upnuty na revolverové hlavě.

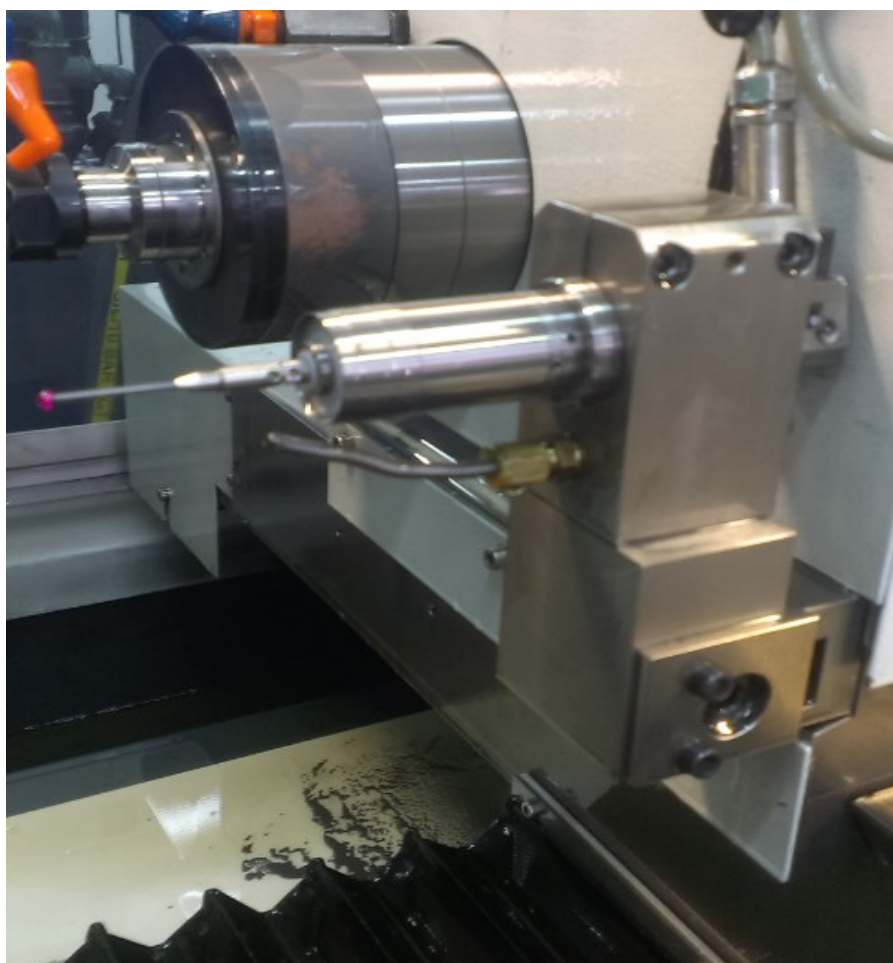
**4.5 Měření zvolené součásti**

Měření součásti provádíme přímo na stroji combitec, který má zabudovanou měřicí sondu přímo na revolverové hlavě stroje, kterou se měří průměr součásti. Pro další kontrolu průměru se používají kalibry, dutinoměry. Tvarová část se kontroluje pomocí přístroje formtracer SV-C3000 od firmy Mitutoyo, který je umístěn v kontrolním středisku. Na přístroji si překontrolujeme celý vyrobený tvar, který se měří měřicí jehlou. Při měření drsnosti musíme vyměnit ramínko na měření kontury za ramínko drsnoměru. Drsnost můžeme měřit jenom na rovinných součástích, na tvarových součástech nelze měřit drsnost povrchu, protože přístroj nedisponuje tvarovým měřením drsnosti.



#### 4.5.1 Měření součástí přímo na stroji

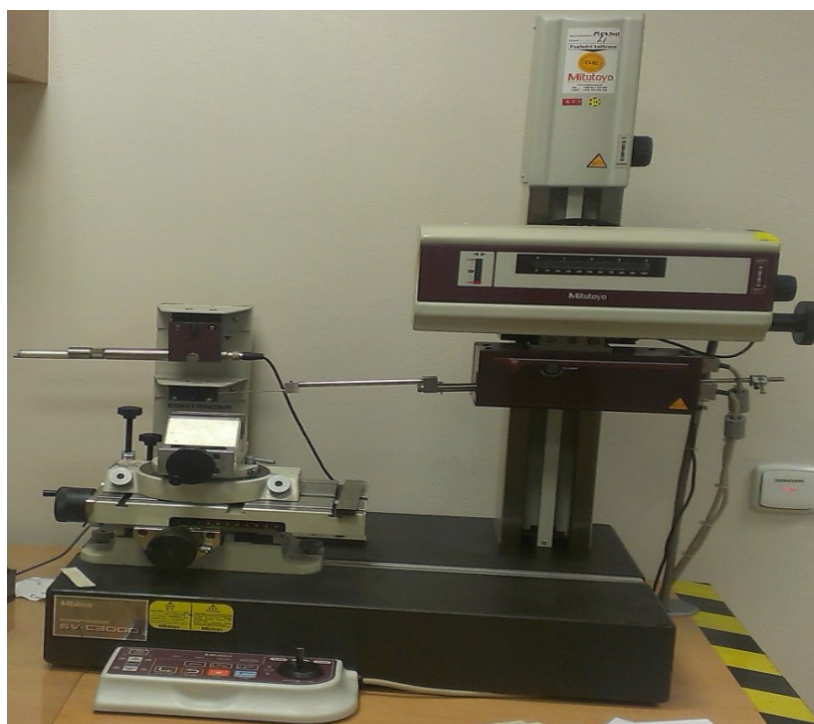
Měření vnitřních průměrů na stroji se provádí měřicí sondou, která je připevněna na stroji. Sonda je nezbytnou součástí stroje, bez které by stroj nemohl fungovat. Sondou se určuje nulový bod součásti a začáteční průměr obrobku. Použitím programu SimCT umožňuje naprogramování automatického měření, včetně zpětné vazby k broušení požadovaného průměru i kontrolu konečného rozměru po každé operaci. Kontrola přesnosti měření se provádí pomocí standartního kroužku pro dutinová měřidla, upnutého přímo na pracovním vřeteníku brusky.



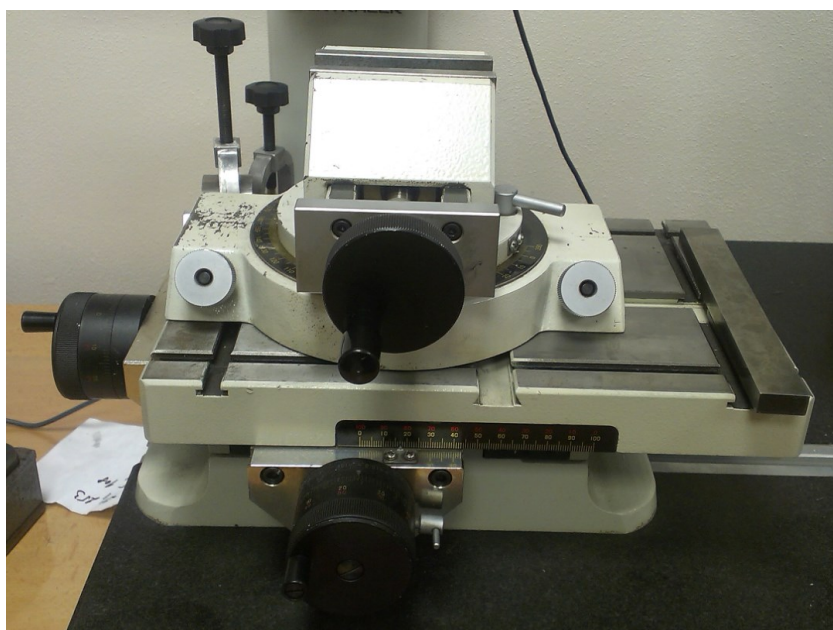
Obr. 4.9 Měřicí sonda připevněna nástroji [15]

#### 4.5.2 Měření tvaru součástí

Tvarové měření se provádí na přístroji formtracer SV-C3000 od firmy Mitutoyo. Formtracer se používá na kontrolu tvarových ploch po broušení nastavování stroje, když tvar je v pořádku, můžeme začít výrobu dalších součástí. Dále se používá, kdyby nastali tvarové problémy při broušení, aby se zabránilo dalším problémům. K výstupní kontrole se používá také formtracer SV-C3000.



Obr. 4.10 Měřicí formtracer SV-C3000 s ručním ovládacím panelem [15]



Obr. 4.11 Stojánek na upínání měřených součástí [15]

#### 4.5.3 Popis a technické data formtracer SV-C3000

Je to kombinovaný přístroj na měření drsnosti a povrchu (profilu). Stolní přístroj na kontrolování menších a středně velkých obrobků. Přístroj je vybaven i CNC programem, který je vhodný pro kontrolování větších sérií. Přístroj se pohybuje ve dvou osách X a Y, když je potřeba měřit obrobek, který má vychýlený střed si pomůžeme vychýlením svěráku. Přístroj disponuje snímací jednotkou na měření drsnosti povrchu a snímací jednotkou na měření kontury. Přístroj je připojen k počítači na kterém se vykresluje tvar kontury.

Tab. 5 Technické parametry formtracer SV-C3000 [11]

Příčný směr	Z2 = 300 až 500 mm
Rozsah měření	X = 200 mm
	Y = 200 mm
	Kontura: Z1 = 50 mm
	Drsnost: Z1 = 800 $\mu$ m, 80 $\mu$ m, 8 $\mu$ m
Rychlost měření	0,02 – 2 mm/s
Rychlost pohybu	200 mm/s (max. CNC)
	0 – 60 mm/s (joystikem)
Přesnost	$X = (1+0,02L) \mu\text{m}$ L = délka posuvu (mm)
	$Z1 = (2+14HI/100) \mu\text{m}$
Rozsah naklápění	+45°(PSHR) až -10° (VSHR)
Měřicí síla	Modely 0,75mN / 4mN
software	FORMTRACEPK

## 4.6 Volba vhodné řezné kapaliny

Řezné kapaliny při broušení mají významnou roli při rychlosti obrábění s nižším opotřebením brusných kotoučů, zlepšení obráběného povrchu a v neposlední řadě životnost. Řezný olej nám pomáhá vyplachovat třísky a odvádí teplo z řezného místa, tím nám způsobuje zlepšení jakosti povrchu.

### 4.6.1 Technologické požadavky na řezná média

**Řezná média rozdělujeme do skupin:**

- **Chladicí účinek** – tím to se rozumí schopnost řezného média odvádět teplo z místa řezu. Odvod tepla vzniklého při řezání se uskutečňuje tím, že řezné médium obklopuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá část vzniklého tepla.
- **Mazací účinek** – je umožněn tím, že médium vytváří na povrchu nástroje a obrobku vrstva, která brání přímému styku kovových povrchů a sníží tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Mazací účinek znamená zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Hlavní částí je viskozita řezného média.
- **Čistící účinek** – spočívá zejména v odstranění třísek z místa řezu. Čistící účinek je významný zejména při broušení (zlepšení řezivosti brousícího kotouče v důsledku vyplavování zanesených pórů, zabránění slepování částic třísek a usnadnění jejich usazování).
- **Provozní stálost** – měřením provozní stálosti řezného media je doba jeho výměny. Dalším významem je, aby se vlastnosti média po celou dobu neměnila. Stárnutí média se pozná podle tvoření pryskyřicových usazenin, tím se i znehodnocuje mazací účinek a vznikání koroze a hnilobný rozklad.
- **Ochranný účinek** – se pozná tím, že nevznikají korozní účinky a nenapadá kovy. Tyto požadavky jsou důležité, abychom nemuseli po jednotlivých operacích výrobky konzervovat proti korozním účinkům. Dalším takovým požadavkem je, aby řezné médium nepoškozovalo strojní vybavení jako je rozpouštění nátěru a rozpouštění gumových částí.
- **Zdravotní nezávadnost** – řezná média nesmí poškozovat zdraví pracovníku, protože při práci na obráběcích stojích přicházejí s ním do styku. Proto nesmí být zdraví škodlivé, nesmí obsahovat dráždivé látky, které dráždí sliznici a pokožku a

nesmí být jedovaté a zamořovat ovzduší. U strojů, kde vznikají páry, musí být odsávání a dobré větrání.

- **Přiměřené provozní náklady** – jsou závislé především se spotřebou řezného média. Při rozboru nákladů je nutné nejdříve posoudit jejich vliv na proces obrábění (průběh plastických deformací v prostoru řezání, opotřebení, trvanlivost, ostření nebo výměna nástroje, změny struktury povrchu obrobené plochy, spotřeba energie). [8]

S těchto požadavků pro řezná média jsem vybral chladicí médium Sintogrind TTK, který je vhodný pro vysokorychlostní broušení, hloubkové broušení a ostření diamantových a CBN brusných kotoučů.

**SintoGrind TTK se vyznačuje následujícími přednostmi:**

- plně syntetický a naprosto čirý olej
- vysoce trvanlivý a odolný proti stárnutí
- nejlepší viskozitní charakteristiky při různých teplotách zaručují stabilní mazací film
- velmi tekutý s velmi nízkým odparem a vysokým bodem vzplanutí
- šetrný k nátěrům a plastovým částem stroje
- šetrný k životnímu prostředí – nejnižší 1. stupeň ohrožení vod
- biologicky odbouratelný nejméně z 80ti%
- neobsahuje chlor, těžké kovy ani aromatické uhlovodíky – nezapáchá a výrazně zlepšuje hygienu na pracovišti broušení
- nedráždí pokožku a nevyvolává alergické reakce
- má velmi nízký obsah kobaltu a nezpůsobuje vyplachování pojiva při broušení slinutých karbidů.

Brusný olej SintoGrind při broušení zajišťuje:

- absorbuje tlak a snižuje tangenciální síly při broušení
- optimální výplach a chladicí vlastnosti, snižuje max. teploty na povrchu obrobku
- netvoří pěnu ani při vysokém tlaku a netvoří olejovou mlhu
- čistý a udržuje optimální řezivost brusných kotoučů
- snižuje opotřebení brusných kotoučů

brusný olej SintoGrind je přímo určen pro broušení nástrojových a rychlořezných ocelí, slinutých karbidů, cermetů a vysoce pevných slitin a je doporučen k použití předním výrobců brusek a ostříček v SRN a Švýcarsku. [12]

## 5. Průběh experimentálního měření a jeho zpracování

Před začátkem broušení byl nastaven brousící stroj, na kterém se nastavily vhodné řezné podmínky, jako jsou posuvová rychlost, hloubka záběru a obvodová rychlost kotoučů a obrobku. Obrobek je upnut do tříčelistového sklíčidla, obrobek se změří pomocí měřicí sondy, která určí nulové body obrobku, aby byla zaručena stejná hloubka broušení. Brusné kotouče volím od firmy HESON, DIAMETAL a DIACARB, které jsou už ve firmě vyzkoušené z jiných zkoušek a splňují požadavky pro broušení tvarů. Drsnost kotoučů jsem zvolil D151 pro hrubování, pro dokončení D46 a pro lapování D15. Při použití kotoučů D151, D46 a D15 volím řeznou rychlost 25 m.s<sup>-1</sup>, která odpovídá průměrům kotoučů.

Tab. 6 Zadané parametry pro hrubování kotoučem D151

Cyklus	1. Operace	
	Hloubka úběru	Přídavek na broušení
	$a_e [mm]$	$p [mm]$
Hrubování tvaru	0,01	0,12
Hrubování 15° na průměru 15,20	0,02	1,65
Hrubování 15° na průměru 14,72	0,02	0,5
Otáčky obrobku	$n_w [ot. min^{-1}]$	600
Rychlost posuvu	$v_f [m. min^{-1}]$	550

Tab. 7 Zadané parametry pro broušení kotoučem D46

Cyklus	1. Operace	
	Hloubka úběru	Přídavek na broušení
	$a_e [mm]$	$p [mm]$
Broušení tvaru	0,01	0,03
Broušení 15° na průměru 15,20	0,01	0,04
Broušení 15° na průměru 14,72	0,01	0,04
Otáčky obrobku	$n_w [ot. min^{-1}]$	600
Rychlost posuvu	$v_f [m. min^{-1}]$	550

Tab. 8 Zadané parametry pro lapování kotoučem D15

Cyklus	1. Operace	
	Hloubka úběru	Přídavek na broušení
	$a_e [mm]$	$p [mm]$
Lapování Ø 15,20	0,005	0,02
Lapování 15° na průměru 15,20	0,005	0.02
Otáčky obrobku	$n_w [ot. min^{-1}]$	600
Rychlost posuvu	$v_f [m. min^{-1}]$	500

### 5.1 Kontrola tvarového profilu

Při tvarové kontrole je důležité dodržovat rychlost měření, abych docílil požadovaných rozměrů. Při kontrole tvarů jsem zjistil, že požadovaný tvary vyhovují tolerančnímu poli na výkrese. Tvarová přesnost se měří na přístroji formtracer SV-C3000, který je popsán v předchozí kapitole. Naměřené hodnoty jsou vloženy v tabulce naměřených hodnot. Měření se provádělo na 7 kusech, které byly následně přeměřeny a vyhodnoceny.

Tab. 9 Naměřené hodnoty tvarového profilu

	Měřené dílce						
	1	2	3	4	5	6	7
ØD 15°	15°02′	15°00′	14°58′	15°02′	15°00′	14°59′	15°03′
Ød 15°	14°49′	14°57′	14°54′	14°56′	15°03′	15°01′	14°58′
$\alpha = 6^\circ$	6°02′	6°03′	6°00′	6°04′	5°59′	6°00′	5°58′
Délka 2,5	2,513	2,512	2,509	2,498	2,502	2,497	2,501
Délka 1+0,2	1,008	1,011	1,002	1,02	1,012	1,005	1,021

## 5.2 Vyhodnocení výsledků

Po obrobení nám vyhovují všechny dílce, které jsme změřili, ale nejvíce k požadovaným rozměrům nám se přiblížil obrobek č.6. Kotouče jsou vyhovující, protože drží stálý tvar obrobku, který jsme požadovali.

## 6. Technicko-ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení

Diskuze experimentu se zabývá tvarovou přesností, které lze dosáhnout zvolenou technologií broušení. Hlavním důvodem bylo zajistit vhodné řezné podmínky, které nám zajišťují tvarovou přesnost. Tvarovou přesnost nám pomáhá docílit vhodně zvolené brusné kotouče, které jsem u tohoto experimentu použil. Tyto kotouče jsou už vyzkoušené z předchozích zkoušek, při kterých vyhovovali. Stopky kotoučů jsme si nechali nabrousit ve firmě Pramet, kde se nechávali brousit koncové rádiusy. A následně se posílali se do firem HESON a DIAMETAL kde se nechala nanést vhodná drsnost diamantových zrn s galvanickou vazbou.

Nejvíce nám záleží na přesnosti výrobního stroje, na který navazují následné okolnosti. Jako je výkon stroje a přesnost polohování obrobku při natáčení B-osy. Rozlišení stroje je v osách X a Z je to 0,0005 mm, při natáčení osy B je to 0,001°. Dalším aspektem pro tvarovou přesnost je radius kotouče, který určuje tvarovou přesnost. Délku životnosti kotoučů nám určuje řezná rychlost, která je určena výrobcem, jestliže zvolíme malou řeznou rychlost, tím se zmenšuje životnost kotouče. Při volbě větší řezné rychlosti se může



kotouč zahřát, a tím dojde ke sloupnutí brusného zrna. Těmito následky rostou náklady na broušení.

Největší ztráty při obrábění dochází, při seřizování strojů před zahájením výroby. Jako jsou vhodné řezné nástroje, upínání nástrojů, měření vysunutí nástroje pro zadání korekce. Upínání obrobků a vyrovnávání obvodové házivosti součástí.

Jako ideální poměr parametrů pro hrubovací operaci je posuv  $v_f = 550 [m. min^{-1}]$ , otáčky obrobku do  $n_w = 600 [ot. min^{-1}]$ , přídavky na hrubování jsou od 0,1 do 0,15 mm, hloubka přisuvu  $a_e = 0,01$  až  $0,03 [mm]$ , vhodná řezná rychlost je pro kotouče o  $\varnothing 8$  mm je  $v_c = 25$  až  $30 m. s^{-1}$ . Pro dokončovací broušení je zvolen posuv  $v_f = 550 [m. min^{-1}]$ , otáčky obrobku do  $n_w = 600 [ot. min^{-1}]$ , přídavek na dokončovací broušení je od 0,03 do 0,04 mm, hloubka přisuvu  $a_e = 0,01$  až  $0,02 [mm]$ , vhodná řezná rychlost je pro kotouče o  $\varnothing 8$  mm je  $v_c = 25$  až  $30 m. s^{-1}$ . Pro lapovací operaci jsou vhodné tyto parametry posuv:  $v_f = 500 [m. min^{-1}]$ , otáčky obrobku do  $n_w = 600 [ot. min^{-1}]$ , hloubka přisuvu  $a_e = 0,003$  až  $0,005 [mm]$ , přídavek pro lapování je 0,02 do 0,03 mm, vhodná řezná rychlost je pro kotouče o  $\varnothing 8$  mm je  $v_c = 25$  až  $30 m. s^{-1}$ .

## 7. Závěr

Tato diplomová práce se zabývá broušením tvrdokovových materiálů a její problematikou. V prvním případě byla představena firma BSK industrial s.r.o. v které byla zpracována tato diplomová práce. V následném bodě byla popsána problematika obrábění tvrdokovových materiálů, následně se vysvětlily obecné terminologie a pojmy v obrábění. Poté jsem podrobně popsal technologii broušení a brusné kotouče, druhy brusiva a následně druhy poživ. Následně byla popsána technologie výroby práškové metalurgie. Byla také navrhována technologie broušení, která zahrnovala volbu vhodného obráběcího stroje, základní rozměry pro upínání obrobků, volba upínání obrobků. Bylo také popsáno měření přímo na stroji. Dalším bodem byl návrh vhodných brusných kotoučů pro danou problematiku. Na konec se zvolily vhodné parametry pro broušení a přístroj, na kterém se měřily rozměry obrobku. V diskuzi experimentu byl zhodnocen určitý závěr, ke kterému se docílilo při experimentu, při kterém se zvolily vhodné podmínky k obrábění, aby se dosáhlo požadovaných tvaru a trvanlivost brusných kotoučů byla co největší.

#### Poděkování

Děkuji firmě BSK industrial s.r.o., že jsem mohl dělat diplomovou v této firmě. Chtěl bych dále poděkovat Petru Varholovi, Jirkovi Šafařovi a Petru Růžičkovi za cenné rady a podklady k vytvoření práce. Dále panu prof.Dr.Ing. Josefu Brychtovi za odborné vedení a cenné rady při diplomové práci.

**Seznam použité literatury**

- [1] BSK industrial s.r.o O společnosti [ONLINE]. 2014. [cit. 2014-18-02] Dostupné z:  
<<http://www.bskindustrial.cz/cz>>
- [2] HLUCHÝ, M., KOLOUCH, J., PAŇÁK, R. Strojírenská technologie II. – Polotovary a jejich technologičnost 1. díl. Praha 2001. ISBN 80-7183-244-8
- [3] BRYCHTA, J., ČEP, R., SADÍLEK, M., PETŘOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. Nové směry v progresivním obrábění. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] HUMÁR, A. Technologie I – Technologie obrábění 3. část. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2005. [online]. [cit. 3.4.2008]. Dostupné na Word Wide Web: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci\\_a\\_nekonvenčni\\_metody\\_obrabeni/TI\\_TO-3.cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/Dokoncovaci_a_nekonvenčni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf).
- [5] DINAS s.r.o., Šumperk. O společnosti [online]. [cit. 15.2.2014]. Dostupné na [www.dinas.cz/](http://www.dinas.cz/)
- [6] URDIAMANT s.r.o., Šumperk, ČR. Brousící kotouče z diamantu a kubického nitridu boru. 2007. [online]. [cit. 20.2.2014] Dostupné na [www: <http://urdiamant.cz/wpimages/other/doc2/BK.pdf>](http://urdiamant.cz/wpimages/other/doc2/BK.pdf)
- [7] MM Průmyslové spektrum. Brousící kotouče ze supertvrdých materiálů. Červenec 2001. [online]. [cit. 15.1.2014]. Dostupné na WWW.  
<<http://www.mmspektrum.com/clanek/brousici-kotouce-ze-supertvrdychchreznym-materialu>>
- [8] BRYCHTA, J., ČEP, R., NOVÁKOVÁ, J., PETŘÍKOVSKÁ, L. Technologie II.- 1. díl. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [9] PITTER, L, Prášková metalurgie. Dostupné z:  
<[http://www.fd.cvut.cz/personal/pittelub/dwnld/pm\\_smt.pdf](http://www.fd.cvut.cz/personal/pittelub/dwnld/pm_smt.pdf)>
- [10] HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2

[11] Mitutoyo Česká republika: katalog měřících zařízení. [online]. [cit. 1.4.2014].

Dostupné z: <<http://www.mitutoyo.cz/files/cz-18001.pdf>>

[12] INTERSPARK PRAHA s.r.o [online]. [cit. 20.4.2014]. Dostupné na

<<http://www.interspark.cz/files/Sintogrind-TTK.pdf>>

[13] MM Průmyslové spektrum. Prášková metalurgie a její využití. Listopad 2002.

[online]. [cit. 21.2.2014] Dostupné na: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/praskova-metalurgie-a-jeji-vyuziti.html>>

[14] IŽDINSKÁ, Z., EMMER, Š., GONDÁR, E. Strojarske materiály. Bratislava: STU Bratislava, 2006. ISBN 80-227-2488-2.

[15] Podklady od firmy BSK industrial s.r.o

[16] FRISCHHERZ, A., PIEGLER, H., PRAGAČ, J. Technologie zpracování kovů 2. Praha, 2001. ISBN 80-902655-1-0.

[17] MM Průmyslové spektrum. Diamant jako řezný materiál. Březen 2012. [online]. [cit. 11.4.2014]. <Dostupné na: <http://www.mmspektrum.com/clanek/diamant-jako-rezny-material.html>>

[18] HESON [online]. [cit. 1.5.2014]. Dostupné z: <<http://www.hesondiamant.de/>>

[19] DIAMETAL [online]. [cit. 1.5.2014]. Dostupné z:

<[http://www.diametal.com/images/stories/downloads/Kat\\_2\\_d\\_e.pdf](http://www.diametal.com/images/stories/downloads/Kat_2_d_e.pdf)>

[20] STUDER [online]. [cit. 1.3.2014]. Dostupné z: <<http://www.studer.com/de/studer-startseite.html>>

## **Seznam příloh**

Příloha č.1 Výkres součásti – matrice TK